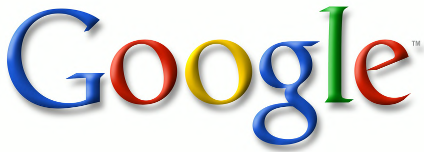
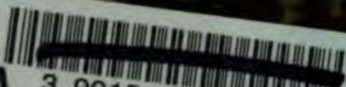
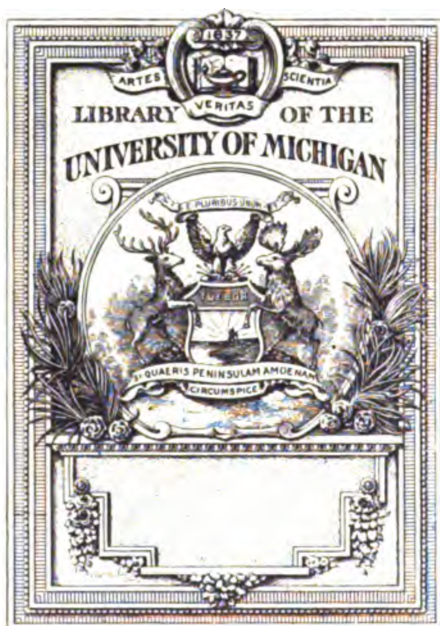



A 3 9015 00385 019 8
University of Michigan – BUHR



ANNALES

DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont font partie le directeur du personnel et des mines, et le directeur du cabinet, est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES

DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVIII.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1880

ANNALES
DES MINES

NOTE

SUR

LA CONSTITUTION GÉOLOGIQUE

DE L'ISTHME DE PANAMA

AU POINT DE VUE DE L'EXÉCUTION DU CANAL INTEROCÉANIQUE

Par M. E. BOUTAN, ingénieur des mines,
Membre de la Commission technique internationale.

La présente note a pour but de décrire succinctement le résultat des observations que j'ai faites pendant le mois de janvier 1880 dans l'isthme de Panama, à l'occasion des travaux de la commission technique internationale que M. Ferdinand de Lesseps a emmenée en Amérique avec lui pour y étudier sur place les conditions d'exécution du canal interocéanique.

Le travail qui m'incombait plus spécialement dans cette commission, dont le but principal était la vérification du tracé proposé par MM. Wyse et Reclus, et adopté en 1879 par le congrès de Paris, consistait dans l'étude des roches à abattre ou des terrains à excaver dans l'exécution future du canal, principalement au point de vue de leur dureté, de leur sensibilité plus ou moins grande aux agents atmosphériques, et enfin de leurs directions de fissures, de schistosité ou de clivage, toutes choses nécessaires pour déterminer convenablement *à priori* le prix de revient des déblais, lequel dépend, dans un travail de ce genre et

pour un relief topographique donné, soit du talus des berges, qui influe sur la quantité, soit de la résistance aux dragues ou aux outils perforateurs employés pendant la période des travaux, qui influe sur les prix unitaires.

La direction essentiellement pratique qu'il a fallu donner à ces recherches et le temps fort limité dont je disposais ne m'ont permis, ni de m'appesantir trop longtemps sur certaines études purement scientifiques, ni d'étendre mes observations aussi loin que je l'aurais voulu de part et d'autre de la ligne du canal : je crois cependant qu'il peut y avoir un certain intérêt à en publier les résultats, qui, pour une partie, mettent en lumière quelques faits absolument nouveaux, et, pour l'autre, complètent les renseignements déjà donnés par Garella et le docteur Moritz Wagner, que MM. Wyse et Reclus ont reproduits en partie, en y ajoutant leurs observations personnelles, dans leurs exposés au congrès de 1879 (*).

Le tracé adopté par ce congrès, que la commission a, du reste, à la suite des études sur le terrain, modifié légèrement, part de Colon-Aspinwal, sur l'Atlantique, et aboutit à l'océan Pacifique, en face du groupe des îles Naos, Perico et Flamenco, à 3 kilomètres environ de la ville de Panama.

L'isthme court en ce point dans la direction N.-E., S.-O., et le tracé du canal qui doit le traverser lui est à peu près perpendiculaire.

La ligne de faîte ou de partage des eaux est sensiblement parallèle aux deux rivages, mais beaucoup plus rapprochée

(*) N. Garella, ingénieur en chef au corps royal des mines : *Projet d'un canal à travers l'isthme de Panama*, Paris, 1845.

D[r] Moritz Wagner : *Ergänzungsheft*, n° 5, *der Mittheilungen von D[r] A. Petermann*, Gotha, 1861.

Congrès international d'études du canal interocéanique : Compte rendu des séances, Paris, 1879.

Rapports sur les études de la commission internationale d'exploration de l'isthme américain, par MM. Wyse, Reclus et Sosa, Paris, 1879.

du Pacifique, dont elle est distante en ce point de 15 à 18 kilomètres environ : le chemin de fer la traverse par un col de 83 mètres d'altitude, situé entre le cerro Gordo et le cerro de Culebra.

De cette ligne de faîte descendent du côté de l'océan Pacifique divers cours d'eau, presque tous à sec pendant l'été, et dont les plus importants sont les rios Caïmito et Aguacate, dont N. Garella empruntait en partie la vallée pour son projet de canal à écluses,ainsi que le rio Grande, séparé des précédents par les cerros Cabra, San-Juan, Santa-Cruz, de los Hormigueros, etc., et dans le lit duquel sera creusé le débouché du canal du côté de Panama.

Mais, tandis que les rivières de ce versant descendent assez régulièrement en éventail de la Cordillière centrale, les cours d'eaux importants situés sur le versant de l'Atlantique paraissent au contraire affecter généralement une direction parallèle à la ligne de faîte; le rio Chagres, par exemple, le plus considérable de tous, conserve jusqu'à Matachin cette direction anormale, qu'affectent aussi la plupart des affluents qu'il reçoit en aval de ce point, tels que le Frijole, l'Agua-Salud et surtout le Gatuncillo, sur la rive droite, le Caño-Quebrado et le Trinidad, sur larive gauche. Il est vrai qu'en aval de ce point son cours, déviant brusquement de la direction primitive, devient au contraire franchement perpendiculaire à la côte, et qu'il reçoit dans cette grande coupure les eaux du bassin tout entier; mais c'est là une véritable faille très nette, unique pour ainsi dire dans le pays, et dont les deux lèvres ne se correspondent pas exactement, ainsi qu'on peut le voir à Barbacoas, où les assises rocheuses de la rive droite, sur lesquelles est établie l'une des culées du pont du chemin de fer, diffèrent complètement de celles de San Pablo sur la rive gauche.

Il semblerait donc que le soulèvement de l'isthme a donné naissance, dans la configuration du sol, à une série d'arêtes

parallèles entre elles et à la grande ligne de faîte, qui encadrent pour ainsi dire les diverses vallées et sont recoupées par la faille diamétrale du Chagres, déterminant ainsi deux directions principales d'alignements que l'on retrouve d'ailleurs en un certain nombre de points de l'isthme, et notamment aux chutes inférieures du rio Obispo, dans l'orientation de la muraille de rochers verticale, traversée par des fissures perpendiculaires, du haut de laquelle se précipitent ses eaux.

Le canal, auquel cette grande coupure, déjà empruntée par les eaux inférieures du Chagres, traçait une route naturelle, doit se détacher cependant de la rivière au village de Gatun, autant pour éviter les exhalaisons malsaines des marécages de son embouchure que pour aller retrouver un peu à l'ouest, à travers les marais de Mindi, les eaux sûres et profondes de la baie de Limon, qui baignent les wharfs de Colon-Aspinwal.

Mais, à partir de Gatun et en remontant le Chagres jusqu'à Matachin, il suivra le thalweg même de la vallée, recoupant à tout instant les nombreuses sinuosités de la rivière, lorsqu'elle s'étale dans les plaines, soit entre Gatun et la Peña Blanca, soit entre Palenquillo et Tabernilla, ou même entre la Gorgona et Matachin, et épousant au contraire ses contours, d'aussi près que le permettent les grands rayons imposés par les conditions de la grande navigation mariritime, aux étranglements de Buhio-Soldado, de San-Pablo et de Mameï.

C'est à Matachin, à la hauteur d'à peu près 15 mètres au-dessus du niveau moyen des deux mers et à la distance de 45 kilomètres environ de l'origine que le tracé, abandonnant le thalweg du Chagres, qui fait en ce point, comme nous venons de le voir, un coude brusque vers le N.-O., se dirige au contraire droit devant lui, perpendiculairement à la ligne de faîte, empruntant ainsi la vallée du rio Obispo, cours d'eau de faible importance tributaire du Chagres,

qu'il ne quitte guère qu'en arrivant au col de la Culebra.

Loin d'être uniforme comme celle de la basse vallée du Chagres, la pente du rio Obispo, généralement plus raide d'ailleurs que la précédente, est en outre coupée par deux chutes d'une hauteur respective de 10 et de 40 pieds, où la roche est mise à nu sur une surface assez grande. C'est là que le canal entre dans le massif central de la Cordillère, dont il traverse la ligne de faîte à côté du chemin de fer, près du cerro de la Culebra, en un point d'altitude égal à 87 mètres, mais que nous avons dû compter en moyenne, dans nos calculs, à cause de la largeur de l'empâtement dû à l'inclinaison des talus, à 90 mètres.

Enfin il se dirige de là vers le Pacifique, en empruntant sur tout son parcours le thalweg du rio Grande.

Ce ruisseau, dont le débit est insignifiant dans la saison sèche depuis sa source jusqu'à Pedro-Miguel, point auquel il commence à être soumis au régime de la marée, se transforme là presque en un véritable fleuve, dont l'estuaire, probablement large et profond autrefois, maintenant comblé par les apports successifs du torrent principal ou de ses divers affluents, communique avec l'océan Pacifique par un goulet assez étroit, resserré entre les massifs du cerro Ancon et du San-Juan.

Si l'on envisage donc d'une façon générale les conditions du tracé, on voit que le canal peut se diviser d'une manière naturelle en trois sections bien distinctes :

La première, longue de 45 kilomètres et comprise entre l'Atlantique et Matachin, emprunte la vallée du Chagres, sauf entre Gatun et la baie de Limon, où elle a à traverser les marais de Mindi ;

La dernière, longue de 14 kilomètres et comprise entre Pedro-Miguel et le Pacifique, emprunte la vallée du rio Grande ;

Enfin la section intermédiaire, d'une longueur approximative de 15 kilomètres, entre Matachin et Pedro-Miguel,

traverse le massif central de la Cordillère par une grande tranchée dont la profondeur maximum, près du cerro de la Culebra, sera de 90 mètres, comptés au-dessus du niveau moyen des mers.

C'est ce tracé qu'il s'agissait pour nous d'étudier.

Mais, si le but à atteindre était bien déterminé, les moyens d'y arriver ne laissaient pas d'offrir des difficultés assez grandes.

En effet, l'observation directe est, sur la plupart des points de l'isthme, absolument impossible. Dès que l'on est sorti des marais qui bordent le littoral des deux côtés, mais principalement sur le versant de l'Atlantique, le sol, qu'il soit plat ou montagneux, est presque toujours recouvert d'une végétation épaisse, si touffue, qu'elle offre un obstacle impénétrable à la marche, et qu'il est indispensable, si l'on veut cheminer dans les bois, de se faire au préalable frayer un chemin à coups de hache ou de sabre; mais, même en usant de ce procédé, j'ai dû bien vite reconnaître, en visitant les *trochas* ou trouées faites dans ces fourrés épais par les brigades de nivellement, que les observations pratiquées dans ces conditions ne donneraient aucun résultat, attendu que le sol est en outre recouvert partout d'une épaisseur de terre végétale assez grande et pouvant même, dans certains endroits, aller jusqu'à plusieurs mètres.

En dehors des tranchées du chemin de fer et des berges des ruisseaux ou rivières, il ne faut donc pas, en général, à moins de faire faire des fouilles sérieuses, moyen peu commode en pratique et limitant d'ailleurs beaucoup le champ des observations, songer à obtenir des résultats géologiques; ceux que j'ai recueillis proviennent presque en entier des courses que j'ai faites sur la voie ferrée ou le long des cours d'eau du Chagres, du rio Obispo, du rio Grande, ou de ceux de leurs affluents qui pouvaient intéresser le canal, et que j'ai descendus en pirogue ou dont

j'ai même parcouru le lit à pied, lorsque le tirant d'eau n'était plus suffisant pour donner passage à ces embarcations pourtant si légères.

J'ai pu cependant, à l'aide de six équipages de sondes qui avaient été envoyés dans l'isthme, avant l'arrivée de la commission, pour y commencer les études, ajouter à ces données quelques renseignements intéressants; mais le temps fort court dont nous disposions m'a forcé de les distribuer non pas tant sur les points rocheux où l'avancement journalier aurait été extrêmement faible, ce qui aurait donné des résultats insignifiants, que dans les terrains tendres et alluvionnaires, où nous pouvions obtenir de cette façon, avec une assez grande rapidité, la profondeur de la roche sous-jacente, renseignement extrêmement important au point de vue de la nature des déblais à enlever plus tard dans l'exécution du canal.

Je vais donner ci-dessous le résultat de ces diverses observations, en commençant par l'étude du profil géologique de l'isthme, suivant l'axe du chemin de fer de Colon à Panama, dont le tracé du canal ne s'éloigne jamais de plus de 3 ou 4 kilomètres (*).

I.

Colon-Aspinwal, tête de ligne sur l'Atlantique du chemin de fer qui traverse l'isthme, est bâtie sur la petite île de Manzanillo, formée par des récifs madréporiques recouverts d'un limon vaseux et d'une terre végétale peu fertiles, imprégnés d'eau de mer, pétris de débris de coquilles, et n'ayant pu donner naissance qu'à une végétation assez pauvre de mangliers et de mancenilliers, parsemés çà et là de quelques cocotiers. Ces coraux abondants, appartenant tous à des espèces vivantes, forment en quel-

---

(*) Voir aux Pl. I et II la carte de l'isthme et sa coupe géologique suivant la ligne du chemin de fer.

que sorte le squelette de cette île à peu près sans ressources, qui donnerait *à priori* une triste idée du pays, si, par-dessus la végétation maigre et basse qui la recouvre, on ne voyait au loin se découper sur l'azur du ciel le profil accidenté de la Cordillère et resplendir la splendide parure des forêts impénétrables du centre.

La voie traverse bientôt le petit bras de mer qui sépare l'île de la terre ferme, et, traversant le littoral bas et marécageux qui le borde, vient couper, à Monkey-Hill (Loma del Mono) le pied d'un contrefort de la sierra Quebrancha, formé sur une certaine épaisseur d'une argile assez grasse, peu fossilifère, colorée en rouge vif par l'oxyde de fer, et qui paraît recouvrir sur un assez grand nombre de points, tant sur le versant de l'Atlantique que sur celui du Pacifique, les formations plus anciennes de l'isthme.

C'est ainsi qu'on retrouve cette argile un peu plus loin, au milieu même des fameux marais de Mindi, de réputation si fâcheuse et, pour le moment du moins, si imméritée, puisque le sol s'y couvre peu à peu de belles cultures, et que nous y avons vu nous-même en plusieurs points des pacages dans lesquels étaient élevées de nombreuses têtes de bétail, dont les gardiens ne paraissaient se ressentir en aucune façon de l'influence prétendue si meurtrière du climat; on peut encore constater sa présence tout le long de la sierra Quebrancha, dont on suit le pied jusqu'à Gatun, soit dans les tranchées de la voie ferrée, soit encore dans les pâturages qui avoisinent ce village.

Sous cette argile, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres, on observe, suivant les points, diverses formations.

Dans les environs de Monkey-Hill et un peu en contrebas de la voie, c'est une sorte de tuf ou de grès tendre, de couleur grisâtre, argilo-calcaire, pétri de débris de coquilles de toutes grandeurs jusqu'aux dimensions microscopiques, qui paraissent appartenir aux couches ter-

tiaires les plus récentes, et contenant çà et là au sein de sa masse des rognons plus durs et à pâte plus fine, mais de composition analogue. Cette même formation se rencontre à 3 kilomètres plus loin environ, de l'autre côté du marais.

A Gatun même, au moment où la voie ferrée va quitter les derniers mamelons par lesquels la sierra Quebrancha vient mourir au pied du rio Chagres, l'argile rouge repose au contraire sur une couche de plusieurs mètres de puissance, formée d'une roche tendre toute différente et assez intéressante par sa structure.

Elle est en effet composée de grains arrondis, assez petits de dimensions (leur volume peut aller jusqu'à la grosseur d'une noisette), à pâte très tendre et généralement assez fine, quelquefois d'une finesse extrême, leur donnant presque l'apparence kaolinique, et englobés dans une pâte plus grossière légèrement colorée par de l'oxyde de fer.

Ces grains sont grisâtres, quelques-uns tirent sur le vert ou le violet. On dirait d'un conglomérat formé des éléments de toutes les roches trachytiques que l'on doit rencontrer plus tard dans la traversée de l'isthme, et soumis ultérieurement à une décomposition profonde que l'action des agents atmosphériques ne suffit peut-être pas à expliquer.

Le Dr Wagner fait observer avec juste raison que ces grains ne contiennent jamais les éléments des roches doléritiques dont je signalerai plus loin la présence, et que par conséquent ce conglomérat doit leur être antérieur.

Je n'ai rencontré l'analogue de cette roche en aucun autre endroit, sauf peut-être à Buena-Vista, où elle n'est du reste visible que sur une assez faible épaisseur. A Gatun, elle a été mise à nu par d'anciens travaux du chemin de fer dont les agents se servaient autrefois des produits de la carrière comme de ballast.

La tranchée s'évase immédiatement en arrivant à la

station, et la voie entre dans la vallée du rio Gatuncillo, qu'elle traverse dans sa largeur, peu considérable du reste, avant d'arriver à Tiger-Hill.

Elle laisse ainsi à droite le petit massif de Miraflores, dont le pied est baigné par les eaux du Chagres, et dont la position isolée, au milieu des plaines environnantes, l'avait naturellement désigné, au temps de la conquête, pour l'emplacement d'un fort dont il reste à peine vestige aujourd'hui, mais qui devait autrefois commander absolument le passage, lorsque la rivière était le seul chemin praticable pour traverser l'isthme.

Ce massif est formé à sa base par une roche gréseuse tendre, à petits éléments formés de quartz, de feldspath et d'amphibole avec un peu de fer oxydulé, et paraissant de même nature que celle de Monkey-Hill; mais plus voisine du point d'origine, elle est par suite composée de matériaux plus grossiers. Cette formation, visible sur une épaisseur de 5 à 6 mètres, est recouverte par une sorte de tuf trachytique blanchâtre dont les diverses assises, d'une pâte tantôt très fine, tantôt composée de grains plus grossiers, paraissent tout à fait identiques aux tufs de la formation importante de Barbacoas, que nous rencontrerons plus loin. Mais revenons au chemin de fer.

Les roches de la Loma del Tigre (Tiger-Hill), dernier contrefort, du côté de l'Atlantique, d'une chaîne puissante qui va rejoindre au nord-ouest la haute vallée du Pequeñi, non loin du massif de Santa-Clara, sont formées d'une sorte de tuf trachytique cristallin, dur, âpre au toucher, contenant des multitudes de débris de coquilles et de polypiers, et criblé notamment d'orbitolites. On y distingue à l'œil tous les éléments des roches trachytiques du pays, et le microscope confirme cette observation en y montrant des fragments de roches volcaniques et de nombreux cristaux d'orthose, de labrador, d'amphibole et de quartz.

Toutes les tranchées de la ligne comprises entre Tiger-

Hill et Lion-Hill montrent la même roche, tantôt plus fine, tantôt plus grossière, mais de composition tout à fait similaire. C'est donc là certainement une formation importante : mais, bien que sur ce point la forêt impénétrable cède en partie la place à de magnifiques plantations de bananiers qui laissent le sol à peu près à découvert, l'épaisseur de la terre végétale empêche d'étendre les observations.

A la sortie de la station de Lion-Hill, la voie ferrée retombe de nouveau dans les marais (Millers-Swamp) sur une longueur de 4 kilomètres environ, et ce n'est qu'après avoir dépassé les huttes d'Ahorca-Lagarto et le ruisseau de Juan-Gallegos qu'on rencontre sur la droite une série de collines basses, que je n'ai vues marquées ni sur la carte de Harrisson, ni sur celle de Wagner, ni même sur celle de MM. Wyse et Reclus, bien qu'elles aient une assez grande importance au point de vue géologique, et qu'elles aient été depuis longtemps déjà signalées par Garella, qui les avait du reste abordées de l'autre côté, par le Chagres.

Elles sont en effet formées d'un calcaire blanchâtre, grenu, cristallin, traversé par des veines de spath, dans lequel l'examen microscopique dénote l'existence de grains de feldspath mâclé, de globules calcaires à croix et à anneaux, qui prennent une très belle coloration sous l'action du polariscope, et enfin de grandes quantités de coraux, de foraminifères et en général de coquilles microscopiques, dont quelques-unes, rondes et cloisonnées à l'intérieur, se rapprochent beaucoup des nummulites.

Ce calcaire qui se retrouve un peu plus loin, au pied de la Sierra de Buhio-Soldado, n'apparaît pas sur la rive gauche du Chagres, où je n'ai trouvé, dans le coude que fait la rivière au-dessous de Vamos-Vamos, que des couches de grès ou plutôt de sables agglutinés, dont la couleur varie du rouge au noir verdâtre, et qui proviennent évidemment de la décomposition et du remaniement des roches doléritiques et trachytiques du massif puissant que couronne

le cerro Jigante : je crois cependant utile d'insister sur sa présence en ce point, car non seulement il pourra peut-être plus tard acquérir une très grande utilité pratique au point de vue de l'exécution des divers ouvrages d'art ou constructions que nécessitera le canal, mais encore il peut, au point de vue théorique, ainsi que nous le verrons plus loin, fournir de sérieuses données pour fixer l'âge du soulèvement de l'isthme.

Garella, dans son Mémoire, en parle en ces termes :

« Au-dessous de Vamos-Vamos, entre ce point et l'estero « Juan-Gallegua, sur la rive droite, on rencontre des roches « blanches de grès calcaire et de calcaire grenu, traversé « par des veines calcaires cristallines, en bancs de plus « de 1 mètre d'épaisseur, dirigées du sud-est au nord-« ouest, plongeant d'environ 20° vers le sud-ouest. A ces « couches calcaires sont associées des couches d'un grès « fin grisâtre, dans lequel on trouve disséminées çà et là « quelques particules de calcaire cristallin : l'une et l'autre « de ces roches, surtout la première, me paraissent très « bien pouvoir être employées comme pierres de taille. « Quant à leur âge géologique, la faible étendue sur la-« quelle elles sont visibles, l'impossibilité de reconnaître « leur relation directe avec les autres terrains, en rendent « la détermination exacte assez difficile ; cependant leur « caractère minéralogique, leur association et leur posi-« tion intermédiaire entre les roches tertiaires du Chagres « et les roches plus anciennes des montagnes centrales me « porte à les placer vers le milieu de l'étage secondaire. »

Nous reviendrons plus loin sur cette question d'âge, nous bornant pour le moment à dire que nous n'avons pu pour notre compte, à cause de la végétation qui recouvrait le terrain, observer ni ces alternances de grès et de calcaires, ni l'orientation et l'inclinaison des couches dont parle Garella.

Cette formation caractéristique cède bientôt la place à

de nouvelles apparitions de sables, d'abord, puis de graviers agglutinés à ciment calcaire, contenant, comme ceux de Vamos-Vamos ou de Gatun, tous les éléments des roches génératrices de l'isthme, classés en quelque sorte par ordre de grosseur, et dont on retrouve les différents termes au fur et à mesure qu'on s'avance vers le centre. Ces graviers font même place, un peu avant la station de Buhio-Soldado, à de véritables conglomérats à gros éléments, dans lesquels se distinguent très nettement les deux types fondamentaux opposés des roches cristallines qui se rencontrent dans le pays.

Le premier, d'un gris tirant sur le jaune, probablement par suite d'une décomposition postérieure, est formé d'une pâte amorphe avec microlites d'oligoclase, et contient en outre un peu de quartz, des cristaux d'orthose présentant la mâcle dite de Carlsbad, qui laissent voir très nettement au microscope des zones d'accroissement remarquables, d'autres grands cristaux de hornblende en assez grande quantité, enfin un peu de labrador, de pyroxène et de fer oxydulé.

Le second, plus lourd, de couleur vert foncé, en diffère essentiellement par sa pâte cristalline à microlithes de labrador et par ses éléments plus grossiers. Il contient d'ailleurs beaucoup plus de pyroxène, moins d'orthose et pas d'amphibole.

Il est impossible de reconnaître le passage de l'une à l'autre de ces diverses variétés de conglomérats, que l'on retrouve successivement dans presque toutes les tranchées de la ligne jusqu'à Buena-Vista. Les échantillons que j'ai pu y recueillir ne diffèrent pas sensiblement des précédents; ils paraissent cependant appartenir surtout à la série claire amphibolique, bien qu'ils renferment fréquemment un peu de mica noir; on peut y noter quelquefois des noyaux d'opale ou de calcédoine.

Toutefois, la série de ces divers conglomérats est coupée,

à la station même de Buhio-Soldado, par une formation importante, complètement différente de celles qui l'avoisinent, et qui, exploitée en carrière par l'administration du chemin de fer pour les travaux de la voie (digues, piles de ponts, etc.), se laisse voir au front de taille sur une hauteur de 15 mètres environ.

Prise en masse, la roche qui la compose est homogène sur toute sa hauteur, sans trace de stratification ni de clivage, assez tendre pour se travailler et s'extraire sans trop de frais, assez dure pour offrir une résistance convenable dans l'emploi, assez compacte pour ne pas trop se déliter ou s'effriter sous l'action des agents atmosphériques; mais, au demeurant, assez médiocre, parce qu'elle ne présente ces diverses qualités qu'à un degré très relatif, et ne paraissant certainement pas mieux appropriée aux constructions que le calcaire d'Ahorca-Lagarto.

Au point de vue minéralogique, c'est une sorte de brèche de couleur foncée verdâtre, formée de noyaux anguleux ou arrondis, parfois assez gros, de roches volcaniques, enfermés dans une pâte de pyroxène en cristaux, de labrador et de fer oxydulé, laquelle à son tour est cimentée par de l'opale ainsi que par une matière verte fibreuse ou concrétionnée, dépolarisant la lumière, et dont il est difficile de définir la nature. Cette constitution se reconnaît d'ailleurs très bien dans le travail de la pierre, dont certains noyaux durs ralentissent parfois énormément le travail au fleuret, tandis qu'un peu plus loin la pâte tendre se laisse traverser avec une facilité beaucoup plus grande.

Je n'ai rencontré cette roche en aucun autre point : elle diffère complètement, comme aspect, des trachy-dolérites cristallines massives ou formant les éléments des divers conglomérats que nous aurons à signaler par la suite, mais paraît être au contraire une véritable boue volcanique solidifiée et restée presque amorphe en grand, malgré l'inclusion d'un grand nombre de petits cristaux, dont quel-

ques-uns sont à la vérité parfaitement visibles à l'œil, mais dont la plupart ne révèlent leur présence qu'au microscope.

C'est en arrivant à Buena-Vista que l'on retrouve les argiles rouges. Elles apparaissent, ici comme précédemment, à la surface du sol, et je les ai vues, dans des fouilles pratiquées près de ce village pour des fondations, reposer sur un conglomérat tendre analogue à celui de Gatun; mais, n'ayant pu les observer que sur une très faible épaisseur, j'ignore si cette formation y a la même puissance. Les collines qu'elle compose s'abaissent d'ailleurs bientôt pour disparaître sous la grande plaine d'alluvions dans laquelle entre la voie ferrée au sortir du village, et que coupent successivement les rios Agua-Salud, Frijolito et Frijole; mais on les retrouve à 10 kilomètres plus loin, en arrivant à Tabernilla, et on les suit encore quelque temps, pendant 2 kilomètres environ, jusqu'un peu avant d'arriver au pont de Barbacoas, recouvrant dans cet intervalle une sorte de tuf trachytique décomposé, analogue à celui que l'on va trouver en masses puissantes à la culée même du pont sur le Chagres, mais qui paraît, en ce dernier endroit, moins décomposé.

Nous nous arrêterons un peu sur ce point assez remarquable, signalé par tous les observateurs ou même les simples voyageurs qui ont traversé l'isthme. C'est en effet l'une des rares localités où la roche apparaisse à nu naturellement, et ceux qui remontaient autrefois péniblement le Chagres dans leurs mauvaises pirogues, aussi bien que ceux qui le traversent commodément aujourd'hui en chemin de fer sur le pont de Barbacoas, n'ont pu manquer de voir cette muraille de rochers verticale, haute de 15 à 20 mètres, sur laquelle repose la culée droite du pont.

C'est une sorte de tuf trachytique blanchâtre, assez âpre au toucher, formant des couches à aspect souvent rubané, à stratification un peu confuse, dans lesquelles j'ai pu ce-

pendant relever la direction générale N. 30° E. environ, avec un plongement de 18 à 20° vers le nord-ouest. Les divers bancs que l'on peut observer sont les uns d'un grain assez grossier, les autres au contraire d'une pâte fine et compacte et presque à cassure esquilleuse. La masse amorphe, généralement feldspathique, mais mélangée quelquefois à un peu de calcaire, contient quelques petits cristaux d'oligoclase, et présente tout à fait l'aspect d'une obsidienne en quelque sorte dévitrifiée ou diamorphique.

Cette roche, à laquelle Garella donne le nom de grès ou grauwacke de transition, est beaucoup plutôt un tuf cendreux non remanié; elle est peu consistante, souvent fissurée, très inégale de dureté et de grain, et ne peut en aucune façon, d'après ce que l'on en voit à la surface, servir aux constructions.

On ne peut pas en dire autant d'une roche que l'on trouve après avoir passé la rivière, et qui se rencontre sur une assez grande étendue de terrain dans les environs de la station de San-Pablo. Elle se voit notamment sur les berges du Chagres (rive gauche), où je l'ai observée en plusieurs points, mais beaucoup mieux encore sur les bords du chemin de fer, où elle a été autrefois exploitée en carrière sur une épaisseur de 7 à 8 mètres. Il est vrai que cette exploitation est délaissée maintenant, je ne sais trop pour quelle cause; je suppose toutefois que c'est depuis la découverte du gisement de Buhio-Soldado, plus dur et plus résistant aux agents atmosphériques.

Quoi qu'il en soit, le tuf qui la compose est notablement différent de celui de Barbacoas : c'est plutôt une sorte de brèche trachytique, plus jaunâtre et plus cristalline, parsemée de taches vertes, et qui paraît, à l'encontre de la formation précédente, être un produit de remaniement et de décomposition.

Prise en masse, elle m'a paru se présenter sous forme compacte, sans trace de stratification apparente, bien que

MM. Wyse et Reclus y aient trouvé des couches plongeant de 16° au nord; on y distingue au microscope quelques cristaux de pyroxène et de labrador fort décomposés, avec un ciment assez rare de calcédoine.

Entre San-Pablo et Matachin la vallée se resserre, et la rivière, repoussée tantôt d'un côté tantôt de l'autre par les nombreux contreforts des massifs voisins qui l'enserrent, coule dans une plaine d'alluvions beaucoup plus étroite qu'à l'aval, laissant à nu de temps à autre le pied des collines que viennent baigner ses eaux. Mais, là comme dans les tranchées du chemin de fer, on ne trouve guère sur cette section qu'une succession ininterrompue de conglomérats trachytiques ou doléritiques, coupés de temps en temps par les alluvions des affluents du Chagres, tels que le Baïla-Monos et le Caravali sur la rive gauche, le Pisco et le Juan-Grande sur la rive droite.

Tantôt ces conglomérats sont cimentés par une pâte dure, de nature tout à fait analogue à celle des noyaux qui en constituent les éléments et à peine discernable d'avec eux, tantôt au contraire ce ciment est fortement décomposé, passe presque à un sable pulvérulent, et donne à la masse l'aspect d'alluvions gigantesques formées aux dépens des massifs environnants.

Quant aux noyaux eux-mêmes, tantôt ce sont, comme entre San-Pablo et Baïla-Monos, des sortes de trachytes gris ou violacés, formés principalement de cristaux plus ou moins gros de feldspath, de grains de quartz, de mica, d'amphibole, parfois même, mais en beaucoup moins grande quantité, de pyroxène; tantôt, au contraire, comme entre Baïla-Monos et Mameï, ce sont des roches plus foncées, tenant plutôt des trachydolérites, et formées d'une pâte labradorique et pyroxénique, avec de gros cristaux de pyroxène mâclés et une grande quantité de grains de fer oxydulé.

La première espèce paraît plus spécialement constituer la rive gauche du Baïla-Monos, l'autre, la rive droite.

Mais ces noyaux eux-mêmes peuvent aussi se décomposer en donnant naissance à des produits plus ou moins terreux, de couleur blanchâtre dans le premier cas, verdâtre ou brunâtre dans le second. Je signalerai notamment, un peu avant d'arriver à Mameï, une tranchée dans laquelle ils sont arrivés jusqu'à ressembler presque complètement à de grosses pelotes d'argile terreuse, à structure globulaire concentrique, dont la formation paraît provenir de la décomposition superficielle due à l'humidité et en général aux agents atmosphériques.

Les alternances de terrains sont différentes quand on a dépassé Mameï.

Au sortir de la station, on trouve bien tout d'abord une tranchée pratiquée dans un conglomérat trachytique blanchâtre extrêmement décomposé et fort tendre, auquel succèdent bientôt des conglomérats à gros éléments doléritiques, liés par de l'argile brune ou des sables tantôt sans consistance, tantôt très fortement cimentés; mais, dès que l'on a dépassé les cerros Urraba et Culeseco, on tombe sur des argiles bigarrées de rouge et de gris, qui ne paraissent être autre chose que des tufs plus ou moins décomposés et remaniés, colorés par de l'oxyde de fer, et qui diffèrent notablement d'aspect des argiles rouges, plus fines et plus uniformes de couleur, de Tabernilla et de Gatun.

Enfin, ces argiles disparaissent elles-mêmes et la voie entre dans la plaine alluvionnaire qui s'étend entre la Gorgona et Matachin, où elle est établie en remblai, sauf sur un point où une tranchée permet de constater la réapparition des conglomérats doléritiques parfaitement déterminés, et dans lesquels les noyaux se composent encore de couches concentriques se détachant successivement par écailles d'une façon très nette.

Je pense qu'il ne faut pas attacher beaucoup d'importance à la présence dans les environs de la Gorgona des argiles que j'y ai constatées : on peut dire, je crois, d'une

façon générale, que par-dessous les alluvions plus ou moins épaisses et plus ou moins larges du Chagres qui s'étendent, de chaque côté de son lit à des distances variables, le terrain se compose de conglomérats tantôt trachytiques, tantôt doléritiques, dont la loi de succession ou d'alternance ne paraît pas se dégager nettement des observations insuffisantes que j'ai pu y faire, et dont la dureté variable, dépendant de l'état de décomposition, paraît devoir être assez grande en profondeur.

C'est ce dont on trouve la confirmation quand on suit la rivière elle-même en examinant avec soin ses berges sur tous les points où la roche vient affleurer.

La plupart des échantillons que j'y ai recueillis montrent une pâte tantôt très cristalline, tantôt un peu décomposée, de labrador avec grands cristaux d'augite mâclés à mâcle multiple et une notable quantité de fer oxydulé : on n'y trouve pas de péridot.

En certains endroits, cette roche devient scoriacée et est criblée d'amandes remplies d'une matière claire translucide absolument amorphe, empâtant des concrétions fibreuses verdâtres. Je signalerai notamment un point de la rive gauche du Chagres, tout près de Matachin, comme en présentant des spécimens assez curieux.

C'est à Matachin, on le sait, que commence la seconde section du canal, et que le tracé s'engage dans une contrée plus accidentée et plus difficile à tous égards que la précédente; mais, avant d'en entreprendre la description et de quitter la vallée du Chagres, je ferai une courte digression sur la partie haute de cette vallée ainsi que sur le barrage qui a été prévu dans le devis de la commission pour emmagasiner les crues si importantes de la rivière.

J'ai déjà dit qu'à Matachin le Chagres fait un coude brusque et qu'en amont de ce point il coule dans la direction N. N. E. — S. S. O. A peu près à moitié chemin entre ce

village et celui de Cruces, la vallée devient plus étroite et se trouve resserrée entre deux collines, le cerro de Gamboa sur la rive gauche et le cerro Baruco, contrefort du cerro Pelado, sur la rive droite. Cette sorte d'étranglement, en amont duquel la vallée reprend sa largeur normale, est cependant fort large encore, et le barrage que la commission y a prévu, et qui doit avoir une hauteur de 40 mètres, n'aura pas moins de 1.600 mètres de longueur.

Il aurait été assurément fort désirable de trouver un endroit plus favorable à un ouvrage d'art aussi important. Mais, si l'on songe que la dernière grande crue du Chagres, celle du 25 novembre 1879, a été évaluée par certaines personnes, et notamment par le colonel G. M. Totten, ancien ingénieur en chef du chemin de fer de Panama et président d'honneur de la commission, jusqu'à près de 1 milliard de mètres cubes, on voit qu'il était interdit à la commission, pour ne pas trop diminuer le volume d'eau emmagasiné, de remonter trop haut dans la vallée principale. A la rigueur, on aurait cependant peut-être pu remonter jusqu'aux défilés de la Campana, qui se trouvent à une journée et demie de pirogue de Matachin; mais outre que la capacité du barrage aurait été diminuée dans une trop forte proportion, on laissait ainsi en aval le rio Chilibre, dont les inondations pourraient plus tard, tout aussi bien que celles du Chagres, devenir à certains moments dangereuses.

Il a donc fallu se résoudre à faire les études du barrage en admettant qu'il serait placé sur ce point désavantageux à certains égards à cause de la largeur de la vallée et de l'épaisseur des alluvions au milieu desquelles coule la rivière; mais je considère, sinon comme probable, au moins comme très possible, que par des études ultérieures on arrive à trouver un meilleur emplacement.

Voici toutefois quel a été le résultat de mon examen au point de vue géologique.

Sur la rive gauche, le cerro Gamboa, dont la constitution se rapproche beaucoup de celle du massif central, est composé d'une brèche doléritique de nature analogue à celle d'une autre brèche remarquable que nous signalerons plus loin sur les flancs de la Cordillère, mais qui est ici beaucoup plus décomposée, au moins à la surface; ses fragments, tous d'origine volcanique, sont verdâtres ou violacés, et prennent quelquefois l'aspect d'un pétrosilex compact et luisant; la pâte est calcédonieuse et opalescente.

Lorsque, partant de la casa de Gamboa, sur les bords de la rivière, on gravit les flancs du coteau, on rencontre en outre de loin en loin des pointements d'une roche noire, exceptionnellement compacte, luisante, à cassure finement esquilleuse, faisant feu sous le marteau, fissurée en tout sens, et dans laquelle l'étude microscopique montre une pâte amorphe foncée au sein de laquelle on distingue d'une part des parties grisâtres dépolarisant vaguement la lumière qui semblent être de l'oligoclase, et de l'autre de petits cristaux à forme peu nette dépolarisant énergiquement qui sont probablement du pyroxène.

On dirait des sortes de filons dont les têtes font saillie à fleur de sol à cause de la compacité exceptionnelle de la roche et de son peu de sensibilité à la décomposition superficielle provenant des agents atmosphériques.

Sur la rive droite au contraire, les roches que l'on rencontre dans le massif du Baruco soit en fragments épars à la surface du sol, soit en place dans les petits ravins qui sillonnent ses flancs, sont formées de tufs trachytiques blancs jaunâtres tirant quelquefois sur le violet, d'une pâte tantôt fine, tantôt plus grossière, beaucoup plus légers que la roche précédente et appartenant à la série claire amphibolique.

La nature des assises sur lesquelles doit reposer le barrage, bien que paraissant devoir offrir des deux côtés une

résistance très convenable dès que l'on aura déblayé la couche de terre végétale de la surface, est donc bien distincte sur les deux rives du fleuve : mais je n'ai pas besoin d'ajouter qu'il est impossible d'observer la ligne de séparation. Indépendamment des difficultés ordinaires, on est arrêté dans cet examen par les alluvions du Chagres, fort épaisses en ce point, et que les sondages placés dans l'alignement du barrage n'avaient pas encore réussi à traverser au moment de notre départ de Panama (*).

Dans les différentes excursions que j'ai faites à Gamboa et à Cruces pour visiter les sondages qui étaient installés dans les environs, comme aussi dans la descente du Chagres, que j'ai suivi depuis Matachin jusqu'à Gatun, j'ai pu faire quelques observations sur la nature de ces alluvions dont la puissance atteint quelquefois des épaisseurs considérables.

Formées aux dépens des roches volcaniques âpres et rudes au toucher qui constituent le noyau de toutes les montagnes du pays, ces alluvions sont presque toujours assez maigres. Leurs talus, visibles sur les berges de la rivière, sont généralement raides, et montrent d'abord, dans le haut de la vallée, des lits alternatifs composés de galets, de graviers et de sables; mais bientôt les éléments qui les composent deviennent de plus en plus fins, et ce ne sont déjà plus, dans les grandes plaines du Frijole et en aval de ce point, que des sables plus ou moins argileux dans lesquels les pierres de dimensions grosses ou moyennes ont complètement disparu.

A Cruces toutefois on en rencontre encore quelques-unes, quoiqu'en assez faible quantité, et j'en ai recueilli un certain nombre d'échantillons qui m'ont paru devoir donner une idée des formations du haut de la vallée.

(*) L'un d'eux a, depuis lors, rencontré le fond de roche (trachydolérite cristalline) à $27^m,10$.

Je dois dire tout d'abord que je n'ai, pas plus là qu'ailleurs, rencontré de granite, bien que sa présence soit signalée dans l'isthme, et notamment dans les cailloux roulés du Chagres, par le Dr Moritz Wagner; j'y ai également trouvé peu de calcaire. Celui que j'y ai vu était dur, compact, lourd, de couleur gris sale ou jaunâtre et pétri de fossiles indéterminables. On m'en a en outre rapporté de la Campana, où je n'ai malheureusement pas eu le temps d'aller, dans lequel on distingue un très grand nombre de fossiles de forme circulaire, aplatis, à section allongée, qui sont probablement des orbitolites, mais ne paraissent pas pouvoir être rangés parmi les nummulites.

A part cette exception, je n'ai trouvé que des roches de nature volcanique, les unes à pâte vert clair très fine, quelquefois parsemée de pyrite, les autres à pâte plus grossière de couleur vert foncé ou violacée.

Quelques-unes d'entre elles sont très intéressantes au point de vue minéralogique; je citerai notamment les échantillons qui portent dans ma collection les numéros suivants :

N° 89. — Roche gris clair compacte à cassure conchoïdale et esquilleuse.

Au microscope : oligoclase en cristaux mal délimités et prenant l'apparence fibreuse, quelques cristaux d'orthose, très peu de pyroxène.

N° 90. — Roche grise à l'aspect granitoïde contenant des parties vertes : cristaux de feldspath; pâte blanche un peu grenue, agissant vivement sur l'aiguille aimantée.

Au microscope : rares cristaux de fer oxydulé, pyroxène assez abondant à larges plaques avec taches vert clair sans action sur la lumière polarisée, grands cristaux d'orthose très allongés, petits cristaux mal définis d'oligoclase dans la pâte, grains de quartz fissurés avec inclusions solides.

N° 91. — Roche gris brun assez peu foncé, compacte;

cassure grenue un peu conchoïdale, petits cristaux de feldspath, agissant fortement sur l'aiguille aimantée.

Au microscope : roche tout à fait salie par l'oxyde de fer finement disséminé, noyaux relativement gros de calcédoine disséminés et comme se fondant dans la pâte très nettement fluidale, contenant des microlites d'oligoclase.

N° 92. — Roche grenue à pâte compacte grisâtre, à cassure esquilleuse, presque vitreuse; petits cristaux de feldspath, taches de pyrite de couleur claire, matière verdâtre disséminée, sans action sur l'aiguille aimantée.

Au microscope : roche des plus remarquables formée ainsi qu'il suit : noyaux contenant des grains de quartz et des cristaux d'orthose fendillés et pénétrés d'une matière opaque qui est de la pyrite. L'orthose présente la mâcle de Carlsbad et des zones d'accroissements fréquentes. On trouve cependant quelques rares cristaux allongés mâclés qui semblent être du labrador.

Ces noyaux sont entourés de sphérolites concrétionnées fibreuses, dont les fibres sont normales à la surface des noyaux, et présentent au polariscope des phénomènes tout particuliers sur lesquels nous ne pouvons nous appesantir ici. Le tout est consolidé par une sorte de pâte à petits grains où le quartz paraît dominer, ainsi que de petits cristaux colorés par biréfringence et formant par décomposition une matière verte dichroïque agissant peu sur la lumière polarisée, qui pénètre aussi la pyrite et le feldspath.

N° 93. — Roche à cassure grenue gris pâle verdâtre, devenant ocreuse sur les bords par décomposition. — Petits cristaux de feldspath dans la masse. — Vides ocreux paraissant provenir de la décomposition des feldspaths.

Au microscope : roche translucide salie par des matières ocreuses disséminées en grande abondance, petits cristaux de fer oxydulé. Grains de calcédoine translucide enveloppés d'une pâte formée de grands microlites d'oligoclase,

affectant la texture fluidale. Pyroxène grenu dans la pâte. Quelques grands cristaux d'oligoclase.

N° 97.—Roche gris verdâtre foncé à cassure conchoïdale.

Au microscope : taches noires irrégulières de fer oxydulé dans une masse claire cristalline ; cette masse claire est surtout formée de quartz avec cristaux allongés peu nets, probablement d'oligoclase.

N° 98. — Roche compacte, gris noir verdâtre, à cassure esquilleuse, feldspath strié vitreux dans la masse ; forte action sur l'aimant.

Au microscope : beaucoup de fer oxydulé et de pyroxène ; nombreux cristaux de labrador assez grands et microlites labradoriques.

Au delà de Matachin, le tracé du canal, quittant comme on le sait la vallée du Chagres, entre dans celle du rio Obispo, et se dirige par là vers le col de la Culebra : c'est aussi la direction que suit le chemin de fer.

Nous entrons ainsi dans la seconde section, celle dans laquelle se trouvera la grande tranchée et où l'on aura à attaquer les roches les plus dures. On n'y rencontre guère, en effet, à part quelques exceptions, que des roches foncées, de couleur verdâtre, tenant de plus ou moins loin aux dolérites, et que je vais successivement passer en revue.

Ce sont d'abord, pendant les deux premiers kilomètres, des conglomérats généralement très durs, quelquefois un peu décomposés à la surface, dont les noyaux cristallins présentent toujours la même pâte labradorique contenant des cristaux de pyroxène et même d'orthose avec une assez grande quantité de fer oxydulé, et dont la substance enveloppante, à éléments analogues, se compose de grains de grosseur variable fortement cimentés entre eux.

Ces conglomérats font bientôt place à une roche très dure, faisant feu au marteau, compacte, grenue, violacée,

se détachant, au moins à la surface, en fragments généralement tabulaires, et dont l'œil ne peut en aucune façon discerner les éléments. Au microscope, on la trouve formée d'une pâte grenue pyroxénique dans laquelle flotte une multitude innombrable de petits cristaux d'oligoclase tous de même grandeur et de grains de fer oxydulé doublé de fer oligiste, ainsi que quelques nodules de quartz, amorphes sur les bords, cristallins au centre.

Cette roche ne paraît être du reste qu'un accident : on la voit dans une courte tranchée un peu avant d'arriver à la hauteur des chutes de l'Obispo, et elle fait bientôt place à une sorte de porphyre ou de brèche extrêmement dure, que l'on peut examiner à loisir en ce dernier point, tant sur la paroi verticale du ressaut qui donne naissance à la chute que sur les blocs nombreux, dont quelques-uns atteignent le volume de plusieurs mètres cubes, épars dans le lit ou sur les bords du torrent.

Cette brèche, formée de fragments rouges ou verts empâtés et quelquefois comme orientés dans une masse habituellement verdâtre, mais devenant jaunâtre par décomposition, n'a point l'aspect physique des roches cristallines déjà rencontrées dans les conglomérats précédents. Elle est celluleuse, âpre au toucher, presqu'amorphe (quoique l'œil y distingue çà et là de petits cristaux), et attire fortement l'aiguille aimantée.

Au microscope, les fragments paraissent formés d'une matière oligoclasique, tandis que la pâte, qui montre une structure essentiellement fluidale, est formée par une matière ocreuse pyroxénique salie par du fer oxydulé en très petits grains dans laquelle s'isolent d'autres petits grains ronds de silice.

Cette même brèche se rencontre d'abord à l'état moins décomposé et plus quartzeux sur la ligne du chemin de fer : mais on ne peut l'y observer que sur une surface beaucoup moins grande. Là, sa couleur est plus fraîche;

elle est criblée de petites vacuoles remplies par une matière verte pulvérulente qui s'enlève facilement avec la pointe d'un canif, et on y aperçoit également de fines aiguilles cristallines blanches qui paraissent être de l'orthose.

Un peu plus loin, au contraire, elle est de nouveau plus décomposée quoique plus quartzeuse, et on y trouve des rognons calcédonieux qui paraissent établir une transition assez nette entre la précédente et une autre brèche de nature analogue qui se rencontre non loin de là, aux pieds du cerro Pruja, sur le chemin qui conduit de la station d'Emperador à une mine d'or située sur les bords du rio Saldanillo.

Je dois signaler toutefois, entre le point où j'ai recueilli ces échantillons de brèche et la station d'Emperador, des sortes de tufs, d'argiles, etc., complètement amorphes, tantôt assez homogènes d'aspect, tantôt bigarrés de couleur, et contenant dans leurs masses des rognons de roches plus dures; le tout paraît provenir de la décomposition probablement superficielle des brèches qui constituent la masse principale du terrain depuis les chutes de l'Obispo. Cependant, un peu avant d'arriver au pont de Lacar, près de la station d'Emperador, on trouve dans une tranchée un calcaire blanc, compact, qui ne se rencontre que sur ce point, et dont on n'observe point l'analogue dans les environs. Il est un peu magnésien, et contient quelques traces de fossiles peu discernables qui paraissent rentrer, comme ceux du calcaire d'Ahorca Lagarto, avec lequel il a beaucoup d'analogie, dans les genres bivalves, les coraux et les foraminifères.

Le Dr Wagner signale la présence de ce calcaire sur plusieurs points, entre Matachin et Emperador, où il prétend qu'on le trouve çà et là à l'état sporadique : je ne l'ai pour mon compte rencontré qu'en ce seul endroit.

J'ai pu, par suite de l'existence dans les environs d'une belle route construite il y a quelques années pour

le transport d'une grande machine à vapeur à la mine d'or du rio Saldanillo, faire quelques observations en dehors de la ligne du chemin de fer, et recouper ainsi la ligne future du canal, qui d'ailleurs ne suivra pas exactement dans cette section le tracé du congrès, mais se rapprochera un peu de la voie ferrée, afin de se tenir le plus possible dans le thalweg de la vallée.

Lorsque, partant de la station d'Emperador, on se dirige vers la mine en suivant cette route pour laquelle on a été amené à pratiquer d'assez nombreuses tranchées, on rencontre d'abord, sur une assez grande longueur, des argiles, des brèches décomposées, des conglomérats doléritiques passés à l'état terreux, etc., jusqu'à ce que, au bout de trois quarts d'heure de marche environ, on arrive à retrouver les brèches verdâtres ou violacées que l'on a déjà vues plus bas dans la vallée de l'Obispo, et qui se présentent ici sous un aspect peu différent des précédentes.

L'un des échantillons que j'ai pu recueillir se distingue cependant par sa structure nettement amygdaloïde ou vacuolaire : les amandes, tantôt vides, tantôt remplies d'une matière blanche, sont généralement allongées et comme alignées ; on y constate au microscope la présence de la calcédoine en quantité très grande, qui y forme comme un lacis enveloppant des fragments de couleur brune très foncée, au milieu de laquelle s'aperçoivent de minuscules cristaux filiformes d'oligoclase avec de petits grains de fer oxydulé. Ces noyaux sont d'ailleurs souvent fissurés et traversés eux-mêmes par des veinules de calcédoine dans lesquelles sont disséminés quelques cristaux de pyroxène.

Mais d'autres échantillons se rapprochent davantage de la brèche de l'Obispo, qui me paraît, avec ses diverses variétés, devoir former, sur une longueur de plusieurs kilomètres, la masse principale des déblais à enlever dans l'exécution du canal.

Enfin les pierres que j'ai recueillies et examinées dans le lit du Saldanillo appartiennent toutes aux types connus que je viens de décrire des trachydolérites vertes cristallines et des brèches verdâtres ou violacées qui leur succèdent.

De la station d'Emperador au col de la Culebra, c'est-à-dire sur une longueur d'environ 4 kilomètres, la voie est posée sur le sol ou se trouve en remblai sans qu'une seule tranchée fasse connaître la nature des roches en place. On aperçoit bien çà et là quelques argiles rouges ou brunes, parfois assez coulantes, qui sont recouvertes par de la terre végétale, mais elles n'ont probablement qu'une importance secondaire, et il ne faudrait pas fouiller très profondément pour aller par-dessous retrouver les roches volcaniques dures qui constituent le massif central de l'isthme, et dont le D[r] Wagner signale la présence dans les sommets des environs.

Mais dès qu'on commence à redescendre du col de la Culebra vers Panama, sur le versant de l'océan Pacifique, on rencontre bientôt à gauche, à 500 mètres environ du point culminant, un monticule où la roche apparaît à nu, et auquel sa position exceptionnelle sur le tracé du canal et en plein massif au sommet de la Cordillère a dû d'être choisi pour l'emplacement du premier coup de mine par lequel M. F. de Lesseps a voulu donner en quelque sorte le signal de la prise de possession du sol et affirmer solennellement sa confiance dans le succès futur de son entreprise.

L'opération a été faite le 10 janvier, à neuf heures du matin, à l'aide des appareils électriques de l'aviso français *le Hussard*, dont les officiers avaient bien voulu prêter leur obligeant concours, et en présence de M. F. de Lesseps, de monseigneur l'évêque de Panama, du D[r] Antonio Ferro, délégué du gouvernement central de Colombie auprès de

M. de Lesseps, de M. Damaso Cervera, président de l'État, de M. Lebrun, consul de France à Panama, et d'un très grand nombre d'autres personnes conviées à cette solennité.

La roche, qui n'offre pas en ce point une dureté exceptionnelle, est d'un vert tirant sur le brun; elle paraît amorphe en grand, mais elle est criblée de grandes amandes tantôt remplies d'une matière blanche fibreuse cristalline, qui est du mésotype, tantôt formant des géodes tapissées de petits cristaux de quartz. Examinée au microscope, elle paraît formée d'une pâte labradorique avec cristaux très volumineux de feldspath brisés en tous sens et des grains de pyroxène et de fer oxydulé. C'est une sorte de boue volcanique solidifiée dans laquelle des réactions chimiques intérieures ont produit ces boursouflures amygdaloïdes avec remplissage de minéraux divers qui lui donnent un aspect tout à fait caractéristique.

Elle est bientôt remplacée par une autre roche d'un aspect tout différent, à laquelle MM. Wyse et Reclus, tout aussi bien que le Dr Wagner, ont appliqué le nom de basalte, et qui s'en rapproche en effet beaucoup comme aspect; mais, comme elle ne contient pas de péridot, il est difficile de lui donner ce nom. On la rencontre jusqu'à la station de Paraiso, sur une longueur de 2 kilomètres environ, et je l'ai, dans une excursion, retrouvée sur le cerro de Culebra même, dont elle doit composer tout le massif.

Prise en masse, elle paraît en plusieurs endroits fissurée dans tous les sens, et, bien que ces plans de cassure forment à la surface des figures plus ou moins extraordinaires, ces figures n'arrivent jamais à avoir l'orientation et la symétrie régulières des prismes basaltiques des montagnes de l'Auvergne ou du Vivarais, et je ne crois pas, pour cette raison, qu'on puisse leur appliquer, ainsi que cela a été fait, la dénomination de basalte colonnaire ou prismatique. D'autres fois, sur des points même très voi-

sins, la roche est absolument compacte, sans fissures apparentes : je citerai notamment un certain nombre de tranchées de la voie ferrée, ainsi que les bords du rio Grande, où on la voit affleurer sur une assez grande hauteur.

Examinée de près, elle affecte une couleur olivâtre presque noire, à éclat légèrement résineux, à cassure assez nettement conchoïdale. Sa pâte est formée d'un mélange de labrador et de pyroxène en petits cristaux, avec une assez grande quantité de fer oxydulé. Sur quelques points, tout en conservant son éclat, elle devient plus jaunâtre et son grain plus grossier; les cristaux de pyroxène et de labrador y acquièrent des dimensions plus grandes, ainsi qu'on peut le voir soit au microscope, soit même à la vue simple, et ils renferment, avec le fer oxydulé, des inclusions très nombreuses de matière verte. On y aperçoit même quelques cristaux à extinction nuageuse qui semblent être de l'orthose.

A Paraiso, les conglomérats reparaissent; ils y affectent même de nouveau la forme globulaire à exfoliations concentriques très nettes, mais ils font bientôt place à des argiles plus ou moins compactes dans lesquelles on retrouve des fragments de roches de même nature, à travers lesquelles percent de temps en temps, et notamment près du pont de Pedro-Miguel, les mêmes conglomérats que précédemment.

La dernière section, partant de Pedro-Miguel pour aboutir à Panama, est aussi nettement délimitée au point de vue géologique qu'au point de vue topographique. Les roches pyroxéniques foncées font place, dès que l'on a traversé la plaine d'alluvions apportées par le rio Caïmitillo, à des tufs blanchâtres ou même quelquefois violâtres, amorphes, amygdaloïdes, à éléments tantôt fins, tantôt assez grossiers, et qui semblent constituer non seulement le petit massif compris entre le rio Caïmitillo et la station

de Rio Grande, mais encore les diverses collines que l'on rencontre entre Rio Grande et Panama, où ils alternent avec des sortes d'argiles rougeâtres plus ou moins maigres qui ne paraissent guère en être qu'une modification.

Ces tufs ont une grande analogie avec ceux que l'on a déjà étudiés de l'autre côté de la chaîne, sur le versant de l'Atlantique. J'en signalerai cependant un, situé à 3 kilomètres environ de Panama, qui est assez remarquable. Il est, en effet, d'un grain extrêmement fin, beaucoup plus compact que les autres; sa cassure est légèrement conchoïdale, et on y découvre au microscope des cristaux de quartz et de feldspath brisés, nageant dans une pâte tout à fait amorphe au sein de laquelle on aperçoit des traînées de minuscules petits grains de calcédoine, alignées en lignes flexueuses rappelant celles de l'obsidienne.

D'une façon générale, les roches sont beaucoup plus rares et beaucoup moins dures dans cette section que dans la précédente, et les alluvions des rivières y prennent une importance beaucoup plus grande; la voie ferrée y circule d'ailleurs en remblai sur une notable partie du parcours, particulièrement à la traversée du Caïmitillo, du Cardenas, du Corosal et du rio Puente.

Les observations y sont donc naturellement plus rares; mais, malgré cela, on peut dire d'une façon générale que, depuis Pedro-Miguel jusqu'à Panama, on ne rencontre que des tufs trachytiques et des argiles à divers degrés de finesse, de dureté et de décomposition.

Nous terminerons enfin l'examen que nous venons de faire par celui de la partie du rivage du Pacifique qui s'étend entre Panama et l'embouchure du rio Grande, dont l'importance pour le canal, au point de vue de son débouché sud, peut être très grande.

A Panama même, sur le bord de la mer, on trouve, principalement à marée basse, une roche rougeâtre, en

assises puissantes, à laquelle on peut, à la rigueur, à cause de son aspect physique, donner avec Garella le nom de grès, mais qui est certainement un tuf trachytique dans lequel le microscope recèle, au sein d'une matière argileuse, la présence d'une foule de nodules remplis par une matière décomposée à éclat gras; l'effervescence sous l'action des acides y dénote une assez grande abondance de calcaire.

Si l'on cherche à suivre cette formation sur le rivage même de la mer, en se dirigeant vers l'embouchure du rio Grande, on la voit changer de nature : du rouge violacé elle passe au gris; la pâte devient plus fine, la dureté plus grande; la roche ne contient plus ou presque plus de calcaire, et les couches alternent fréquemment avec des strates assez peu épaisses d'une argile vineuse dont la composition élémentaire doit beaucoup se rapprocher de la précédente, mais dont la dureté est beaucoup moins grande et qui s'effrite en poussière sous l'action des agents atmosphériques.

Ces couches renferment çà et là des rognons d'une substance noire, dure, faisant feu au briquet, à pâte oligoclasique criblée de cellules calcaires, et renfermant des fragments de coquilles bivalves microscopiques; j'y ai même rencontré une coquille dont la dimension atteint 3 millimètres environ et dont la forme se rapproche de celle d'un fuseau.

J'ai voulu relever quelques directions dans ces strates de tufs; mais je les ai trouvées si variables et les couches sont tellement tourmentées, que je crois inutile de les donner ici.

En poursuivant sa route, on voit ces tufs céder la place, au pied du Gavilancito, à un trachyte grisâtre, qui se retrouve dans tout le petit massif du cerro Ancon : l'œil n'y distingue qu'une masse grisâtre avec quelques petits cristaux indéterminables; mais, au microscope, on voit que sa

pâte, oligoclasique et calcédonieuse à la fois, est remplie de cristaux abondants d'orthose et de labrador, quelques-uns de fer oxydulé, et l'on y aperçoit même quelques taches vertes qui pourraient bien être du pyroxène.

La présence de cette roche se constate sur une grande étendue sur le versant du Pacifique; on la retrouve de l'autre côté de Panama à une assez grande distance, mais il m'a été impossible d'en déterminer les limites. Du côté du rio Grande, elle fait bientôt place, au contraire, et je crois devoir insister sur ce point, à cause de son importance relativement au débouché du canal, aux roches foncées doléritiques qui non seulement forment tout le massif du cerro San-Juan, sur la rive droite du rio Grande, mais encore qui pointent sur la rive gauche, entre le rio Grande et le Gavilan, et même tout à fait à l'embouchure, au petit village d'El Pueblo.

Elles ressemblent beaucoup en ce point à celles de Paraiso, surtout aux moins foncées, et elles y ont le même éclat résineux, avec les mêmes cristaux de labrador et de pyroxène.

II.

Tels sont les résultats auxquels on arrive par l'observation de la ligne du chemin de fer ou de ses environs immédiats. Bien qu'ils ne suffisent pas pour donner la constitution nette et précise du squelette géologique de l'isthme, ils peuvent cependant suffire à s'en former une idée et à asseoir les bases d'une discussion à laquelle la construction ultérieure du canal et les nouvelles études ainsi que les travaux secondaires auxquels elle ne manquera pas de donner lieu apporteront de nouveaux et intéressants matériaux.

Je vais tout d'abord, en discutant et coordonnant ces résultats, essayer de donner une classification des terrains

rencontrés, qui sont, ainsi qu'on l'a vu, en assez petit nombre.

Il faut y distinguer, au point de vue pétrographique : en premier lieu, les roches cristallines, toutes d'origine ignée, dont le remaniement et la décomposition ont formé la presque totalité des autres terrains; en second lieu, les brèches, tufs, grès, etc., qui en sont dérivés (*).

Les roches cristallines peuvent à leur tour se subdiviser en trois espèces principales.

La première, la plus basique, a pour type une roche vert foncé, souvent olivâtre, à cassure grossièrement conchoïdale, à texture grenue et cristalline, à éclat souvent résineux, notablement moins compacte que les basaltes, dont elle se distingue d'ailleurs par l'absence de péridot. Par décomposition, cette roche devient vert brunâtre ou jaunâtre; on y voit souvent à l'œil des cristaux d'augite.

Au microscope, elle paraît principalement composée de labrador en cristaux enchevêtrés avec de l'augite et du fer oxydulé dans les interstices. Avec l'augite apparaît souvent une matière verte qui paraît provenir de l'altération de ce minéral.

Quelques échantillons deviennent porphyroïdes par l'addition de grands cristaux plus ou moins brisés de labrador et d'orthose; d'autres sont pénétrés d'amandes d'opale qui fournissent encore une autre variété.

Ce type paraît identique à celui que M. Zirkel a décrit dans son ouvrage sur l'Amérique du Nord et qu'il désigne sous le nom d'andésite augitique; mais l'andésine étant

---

(*) Les éléments de cette détermination m'ont été principalement fournis avec la plus grande obligeance par MM. de Chancourtois, inspecteur général, professeur de géologie, et Mallard, ingénieur en chef, professeur de minéralogie à l'École des mines, qui ont bien voulu examiner soigneusement la collection de roches que j'ai rapportée de l'isthme, et qui constitue la série complète des terrains à excaver dans l'exécution du canal interocéanique.

principalement caractérisée par la présence de l'oligoclase, il paraîtrait plus rationnel de réserver ce nom pour un autre type et de donner à celui-ci le nom de trachy-dolérite, qui lui a été déjà appliqué par le Dr Moritz Wagner et surtout par M. Daubrée, sur les échantillons rapportés par M. Wyse en 1878, et que lui mérite principalement l'abondance du labrador contenu.

Les différentes variétés de cette espèce se rencontrent principalement en masses puissantes au centre de la chaîne entre Matachin et Paraiso, et, à l'état de conglomérat, sur les deux versants de l'Atlantique et du Pacifique, principalement à Matachin, la Gorgona et Mameï d'un côté, Paraiso et Pedro-Miguel de l'autre. En dehors de la ligne du chemin de fer, on les rencontre également dans les massifs du cerro Grande, du cerro de los Hormigueros et du cerro San-Juan, au sud-ouest du chemin de fer, des cerros Gamboa, Mitra et Culebra, au nord-est. Ce sont elles qui forment les sommets les plus élevés des environs.

L'espèce qui diffère le plus de la précédente se compose d'une roche généralement grise, un peu vitreuse, avec de grands cristaux abondants de sanidine, de hornblende, et quelquefois un peu de mica noir.

Au microscope, on distingue très nettement ces divers éléments au milieu d'une pâte claire peu abondante chargée de petits cristaux qui paraissent pour la plus grande partie être de l'orthose; mais on y distingue aussi quelques cristaux de labrador, quelques autres arrondis de quartz avec inclusions vitreuses, un peu de pyroxène et de fer oxydulé.

Cette roche, beaucoup plus acide que la précédente et qui devient terreuse par décomposition, se rapproche beaucoup des dacites ou trachytes amphiboliques, que l'on pourrait également appeler trachy-syénites, par opposition aux trachy-dolérites basiques qui forment le premier type, et qui seraient caractérisés par la sanidine et l'amphibole,

comme les précédents le sont par le labrador et le pyroxène. Quelques échantillons beaucoup plus quartzeux et cristallins se rapprochent des véritables trachytes types de Hongrie et du Var : ce sont ceux que j'ai rencontrés principalement près de Baila-Monos, et d'une manière générale entre Matachin et Barbacoas sur la rive gauche du Chagres, où ils paraissent provenir du massif du cerro Comboy. Ils s'y trouvent à l'état de conglomérats ; je n'ai vu nulle part cette espèce en masses compactes.

Enfin, entre les deux types on pourrait en placer un troisième, moins bien caractérisé, à cassure conchoïdale en grand, grenue en petit, et quelquefois presque unie, dont la couleur est habituellement claire et varie du gris au verdâtre ou au rougeâtre.

Son caractère le plus saillant est d'être essentiellement formé d'oligoclase en cristaux mal délimités, souvent comme fibreux, qui sont associés à la calcédoine et au pyroxène, ce dernier en moins grande quantité du reste que dans le premier type ; mais on n'y rencontre jamais d'amphibole. Le fer oxydulé y est très abondant.

Il semblerait donc rationnel, par suite de la présence de l'oligoclase et du pyroxène, de lui donner le nom d'andésite augitique, appliqué par M. Zirkel à une roche qui se rapproche beaucoup plus du premier type.

Les roches de cette catégorie paraissent surtout devoir se rencontrer dans la haute vallée du Chagres ; je ne les ai guère observées que dans des cailloux roulés pris à Cruces, sur le bord même de la rivière, tandis que les deux autres ont été observés en place.

A ces trois variétés de roches cristallines il faut en rattacher d'autres plus compactes, plus amorphes, mais qui, de même origine évidemment, doivent être considérées comme venues au jour telles quelles, sans remaniement ultérieur ; nous signalerons notamment :

1° Les trachytes compactes du cerro Ancon et des envi-

rons de Panama, qui ne peuvent être réellement classés ni dans la série trachytique précédente, par suite de l'absence d'amphibole, ni dans la série doléritique, à cause de leur couleur claire et de leur composition oligoclasique, ni enfin dans la série intermédiaire, à cause de l'absence de pyroxène. Leur aspect physique leur donne d'ailleurs un facies complètement différent.

2° Le tuf boueux compact et bréchiforme si curieux de Buhio-Soldado, dont la composition le rapprocherait de la série doléritique, ainsi que les tufs trachytiques cendreux, clairs et en quelque sorte dévitrifiés des environs de Panama et de Barbacoas.

A ces roches, pour ainsi dire génératrices, et aux conglomérats qu'elles forment, se rattache une foule de groupes divers de tufs, grès, argiles, etc., que nous avons signalés au fur et à mesure que nous les rencontrions, mais dont on doit considérer les diverses formations comme autant de produits dérivés des précédents. Elles s'étendent au loin des deux côtés du chemin de fer, et on en découvrira probablement plus tard un grand nombre de nouvelles variétés.

Les terrains qu'elles composent prennent une grande importance des deux côtés de la chaîne, entre Pedro-Miguel et Panama d'un côté, et surtout entre Barbacoas et Colon de l'autre : plusieurs sont extrêmement fossilifères. Il faut rattacher notamment à cette catégorie les tufs de San-Pablo, de la Loma del Tigre, de Gatun et de Monkey-Hill, ainsi que les argiles éparses en un très grand nombre de points, notamment à Gatun, à Tabernilla et à la Gorgona.

Quant aux formations de la baie de Panama, auxquelles Garella donne le nom de grès et dans lesquelles le Dr Wagner constate la présence de roches cristallines primitives, granites, syénites, etc., nous avouons n'avoir pu en découvrir, et nous avons déjà dit que leur aspect les rapproche beaucoup plutôt de véritables tufs trachytiques.

Il serait assurément fort intéressant d'examiner maintenant, au point de vue stratigraphique et géologique, la relation de ces divers terrains entre eux, leur ordre de superposition, etc.; mais j'ai déjà dit combien les points d'observation étaient rares dans le pays, et l'on ne sera par conséquent pas étonné qu'il soit très difficile, à cause de l'impossibilité d'observer les contacts, d'étayer par des arguments un peu solides les déductions que l'on peut tirer de quelques faits isolés. L'absence presque complète de fossiles déterminables dans tous les terrains autres que les dernières formations tertiaires du littoral de l'Atlantique rend cette discussion encore plus difficile et les résultats plus incertains; nous allons cependant donner un aperçu de l'idée que l'on peut se faire de la constitution de l'isthme.

Garella a admis quatre formations distinctes :

« 1° Formation porphyrique et trappéenne, qui est de « beaucoup la plus étendue et qui comprend les roches de « toutes les montagnes de l'isthme, depuis les environs de « Panama jusqu'aux derniers mamelons des contreforts de « la chaîne centrale, à Varro-Colorado;

« 2° Formation de grès et grauwackes de transition, que « l'on voit à Panama même et sur les versants du cerro « Grande, et à laquelle il faut peut-être aussi rattacher les « roches de Barbacoa;

« 3° Formation secondaire qui ne se montrerait qu'en « un seul point, au dessous de Vamos-Vamos, en admet- « tant que les roches de Barbacoa dussent être rattachées « à la précédente;

« 4° Enfin, la formation de grès et calcaire coquillier « tertiaire, la plus considérable après celle de trapp et de « porphyre, et qui comprend tout le terrain qui s'étend « entre le rio Trinidad et la mer, sur la rive gauche du « Chagres, et, sur la rive droite, tout ce qui s'étend jus- « qu'à la baie de Limon. »

Il termine en outre (p. 45) son exposé géologique de la manière suivante :

« J'ajouterai enfin, mais avec la défiance que me com-« mandent la faible étendue et la rapidité de mes observa-« tions, que je crois pouvoir en conclure, bien qu'elles « aient été nécessairement un peu superficielles, que les « terrains de trapp et porphyre ont été soulevés au jour « postérieurement à la formation des terrains de tran-« sition, en traversant ces derniers, les soulevant sur « quelques points comme sur les versants du cerro Grande, « et en les recouvrant même quelquefois de déjections « argileuses qui ont formé ces argilophyres que l'on re-« trouve dans beaucoup de localités éloignées, et que les « montagnes d'où s'écoule le rio Chagres d'une part et le « rio Trinidad de l'autre formaient, avant cette époque, « les extrémités avancées des continents des deux Amé-« riques, ou peut-être seulement des îles entre lesquelles « existait un vaste détroit que l'apparition des porphyres « est venu combler. »

Le Dr Wagner, moins explicite, rapporte cependant, à peu près comme Garella, la formation des conglomérats et roches plastiques rouges de Panama (c'est le nom qu'il leur donne) au grès rouge de la formation permienne, et assimile au zechstein les schistes foncés qui les recouvrent (c'est également là le nom qu'il donne aux tufs gris du pied de l'Ancon). Il se borne à ajouter que toutes les formations sédimentaires de l'intérieur sont d'une origine plus récente et dérivées des formations volcaniques sous-marines de la période tertiaire.

Quant à ces formations volcaniques, il les divise en deux : les roches basiques ou doléritiques, et les roches trachytiques, celles-ci plus anciennes et recouvertes par les précédentes.

Pour mon compte, je pense avec le Dr Wagner qu'il faut diviser les roches d'origine volcanique sous-marine que

l'on rencontre entre Colon et Panama, abstraction faite de celles dont j'ai recueilli les échantillons à Cruces, mais que je n'ai pas vues en place, pas plus que les granites qui se trouveraient dans la haute vallée du Chagres, en deux catégories principales, correspondant à la division pétrographique faite plus haut, c'est-à-dire à la série doléritique et à la série trachytique.

Toutefois, dans la série doléritique, il faut encore distinguer diverses variétés qui ne sont probablement pas venues en même temps, ou qui, venues en même temps, doivent avoir des origines diverses : je citerai en particulier le groupe des diverses trachydolérites cristallines (Culebra, Matachin, El Pueblo), la brèche de l'Obispo, la boue volcanique de Buhio-Soldado, etc.

La série trachytique n'est pas suffisamment connue pour qu'on puisse y établir des catégories.

Quoi qu'il en soit, la première des deux est plus récente que la seconde, et lui paraît toujours superposée; c'est là un fait important, offrant d'ailleurs une concordance parfaite avec les phénomènes observés dans les pays où se trouvent des formations ignées, et notamment en Hongrie, dont les roches ont, comme nous l'avons dit, beaucoup d'analogie avec celles de l'isthme américain.

En dehors de ces deux catégories, il n'existe que des terrains contemporains des précédents ou plus récents qu'eux, puisqu'ils ont été formés à leurs dépens, et, parmi ces derniers, je comprends même les tufs de Panama, à cause de leur composition minéralogique et de leurs éléments évidemment trachytiques. On arrivera probablement plus tard à en donner des preuves plus convaincantes et à déterminer exactement leur âge, particulièrement à l'aide des fossiles qu'ils renferment; mais dans les échantillons que j'en ai rapportés il ne s'en est malheureusement pas rencontré d'assez nets pour qu'ils fussent déterminables.

Les tufs de Barbacoas, auxquels Garella donne, sous le nom de grès, une origine sédimentaire, et qu'il attribue dubitativement à la même époque que les rochers de Panama, sont également, on l'a vu, de véritables tufs trachytiques, fort différents d'aspect des précédents et contemporains des trachytes.

Quant aux calcaires de Vamos-Vamos et d'Ahorca-Lagarto, dont l'origine est assez difficile à expliquer, Garella les rattache à la période secondaire. Cette hypothèse peut très bien se soutenir; mais les débris de fossiles qu'ils contiennent, et notamment les orbitolites qui se rencontrent dans le calcaire tout à fait similaire de la Campana, semblent plutôt leur assigner pour âge les débuts de l'époque tertiaire.

On peut donc, je crois, jusqu'à ce que de nouvelles observations viennent compléter, peut-être modifier, les résultats tirés de mes observations et qui concordent en partie avec ceux de Garella, admettre qu'à l'emplacement de l'isthme de Panama se trouvait autrefois un détroit plus ou moins large qui unissait les eaux de l'Atlantique à celle du Pacifique; que ce détroit a été comblé, au moins en partie, par des coulées sous-marines trachytiques d'abord, doléritiques ensuite; qu'entre les deux époques ou périodes de ces coulées, il s'est passé un assez grand laps de temps pendant lequel a eu lieu la formation d'une grande partie des tufs trachytiques remaniés du pays et probablement aussi du calcaire d'Ahorca-Lagarto; enfin que le tout a été soulevé probablement au commencement de l'époque tertiaire et à peu près en même temps que le système post-nummulitique des Pyrénées, recevant à ce moment-là à peu près le relief que l'on voit aujourd'hui.

Les tufs tendres, argiles, etc., en couches horizontales qui s'étendent entre Gatun et le littoral de l'Atlantique appartiennent sûrement aux époques tertiaires plus récentes ou à la période contemporaine.

III.

Il faut maintenant revenir sur nos pas pour examiner non plus spécialement la constitution géologique du tracé du chemin de fer ou de ses environs à un point de vue surtout scientifique, mais bien pour étudier, au point de vue pratique, la ligne même du canal, qui suit de plus près le thalweg des vallées, afin de se maintenir autant que possible dans les alluvions peu consistantes sans entamer les roches dures des collines ou montagnes qui les entourent.

Nous allons pour cela repartir des environs de Colon et suivre ce nouveau tracé (*).

Le canal doit, ainsi qu'on l'a vu plus haut, déboucher dans la baie de Limon, où il atteindra, à environ 12 à 1.500 mètres du rivage, les fonds de $8^{m},50$; il faudra pour y arriver draguer les vases et débris de coraux qui en forment le fond, ainsi qu'une certaine quantité de rochers madréporiques, dont plusieurs atteignent des dimensions assez grandes, et dont j'ai pu constater la présence en examinant soigneusement le fond de la mer à travers les eaux limpides de la baie.

Deux sondages ont été pratiqués au bord du rivage, sur l'emplacement du débouché du canal dans l'Océan : leur orifice était situé à $0^{m},60$ environ au-dessus du niveau moyen de l'Atlantique.

Le premier a rencontré, jusqu'à la profondeur de $8^{m},10$, le terrain formé de débris de coquilles sans cohésion et à l'état pulvérulent que j'avais déjà constaté à la surface ; puis il a recoupé sur une épaisseur de 2 mètres (profondeur totale : $10^{m},10$), une couche de vase noirâtre qui s'enlèvera avec la plus grande facilité à la drague ; on n'y

(*) Voir à la Pl. II la coupe géologique de l'isthme suivant le tracé du canal.

a pas rencontré de coraux en masses plus ou moins grandes, comme ceux de l'intérieur de la baie.

Le second, situé à quelques centaines de mètres du premier, a traversé également tout d'abord les coquilles sans cohésion pour arriver à la vase noirâtre qu'il a rencontrée à $8^m,73$, et qu'il a traversée sur une épaisseur de $1^m,56$: profondeur totale $10^m,09$.

Ces sondages confirment les prévisions que l'on avait déjà formées sur le peu de consistance des terrains dans les environs de Colon.

Le tracé, longeant ensuite le rivage de la mer jusque vers l'embouchure du rio Mindi, dont il emprunte presque le lit pendant 3 ou 4 kilomètres, court dans la direction sud-sud-ouest, traverse le seuil qui s'étend entre la sierra de Mindi et la sierra Quebrancha, dont il devra occuper à peu près exactement le milieu pour éviter autant que possible les tufs plus ou moins durs qu'il ne manquerait probablement pas de rencontrer sur une assez grande épaisseur, s'il se rapprochait trop de l'un ou de l'autre massif; puis il fait un coude un peu avant d'arriver à Gatun, qu'il coupe par le milieu, et va rejoindre ainsi la vallée du Chagres, qu'il ne doit plus quitter jusqu'à Matachin.

C'est à Gatun qu'il trouve le premier étranglement un peu étroit, compris entre le cerro Gatun et les derniers contreforts de la sierra Quebrancha, et j'ai eu soin d'y faire pratiquer un sondage afin de reconnaître le terrain.

Ce sondage a rencontré naturellement tout d'abord les argiles rouges dont j'ai déjà signalé la présence en ce point; mais il est intéressant de noter qu'il les a traversées sur une épaisseur de $10^m,32$, résultat qui m'a un peu étonné, car je n'aurais pas cru à priori que cette formation fût aussi puissante, et qui est d'un bon augure pour l'exécution future du canal : il a trouvé et traversé par-dessous une épaisseur de $8^m,41$ d'un tuf argileux jaunâtre assez compact, mais tendre toutefois, qui paraît être, soit le

résultat des apports alluvionnaires du Chagres, soit un produit trachytique remanié plus ancien.

Le sondage, poussé ainsi à près de 18 mèt. de profondeur, a atteint et même dépassé le niveau du plafond du canal.

Après avoir franchi le village de Gatun, le tracé de MM. Wyse et Reclus se dirigeait en ligne droite sur Palo-Horqueta, au sud-sud-est. La commission l'a un peu modifié par une courbe à double courbure, d'abord pour éviter à droite le petit massif de Miraflores, composé, comme nous l'avons vu, de grès et de tufs trachytiques dont quelques-uns ont une assez grande compacité, de l'autre pour éviter autant que possible, non seulement le massif extrêmement dur de Tiger et Lion-Hill, classé jusqu'ici parmi les terrains tendres et dont j'ai pu au contraire juger la ténacité par la difficulté que j'ai eue à en prendre au marteau des échantillons un peu sains, mais encore un autre massif non marqué sur les cartes de l'isthme, et dont les nivellements opérés par l'une des brigades qui secondaient la commission a révélé l'existence. On aurait pu d'ailleurs le deviner à l'avance par l'existence d'un ruisseau stagnant dans lequel viennent se rendre les eaux du marais de Miller, et qui est marqué sur la carte d'Harrisson (stagnant creek), et reproduit dans celle du Dr Wagner.

J'ai donc pensé, bien que l'on puisse dire d'une manière générale que entre Gatun et Palo-Horqueta le canal traversera sur la rive droite du Chagres la grande plaine d'alluvions qui s'étend entre ces deux points; qu'il était prudent de prévoir sur cette section l'extraction d'un certain cube de déblais notablement plus consistant que les vases et les alluvions de la rivière.

A partir de là, une nouvelle courbe en sens contraire, que nous avons introduite comme rectification dans son tracé, lui permettra probablement de ne traverser que sur une faible longueur les grès de Vamos-Vamos qu'il trouvera sur la rive gauche, sans le faire tomber toutefois sur les

calcaires compactes constatés sur la rive droite un peu après Ahorca-Lagarto. Recoupant ainsi les deux grandes boucles du Chagres, dont les sommets sont marqués par ces deux localités, il se dirigera ensuite à travers la plaine d'alluvions de la Peña-Blanca jusqu'au défilé de Buhio-Soldado.

On devra, sur cette section, rester autant que possible dans le lit de la rivière; mais comme le rayon minimum imposé pour les courbes ne permettra probablement pas de s'y maintenir exactement, il faudra plutôt appuyer un peu sur la droite, afin d'éviter le tuf si dur de la carrière de Buhio-Soldado, ainsi que les conglomérats de nature diverse qui se trouvent à gauche, c'est-à-dire sur la rive droite du Chagres, entre ce point et Buena-Vista. Les berges sont d'ailleurs beaucoup plus escarpées de ce côté, tandis que les profils en travers de la section ont montré au contraire sur l'autre rive un terrain en pente douce, dans lequel j'aurais désiré faire exécuter deux ou trois sondages atteignant le niveau du plafond du canal; malheureusement, la difficulté de passer sur l'autre rive les outils très pesants que nous avions seuls en ce moment à notre disposition dans de mauvaises pirogues peu faites pour transporter d'aussi lourds fardeaux, a retardé pendant trois jours l'installation, et il n'a été possible de forer qu'un seul trou, jusqu'à la profondeur insuffisante de $10^m,07$.

On a pu cependant par là constater sur une épaisseur de $4^m,74$ la présence d'une argile bleuâtre grasse et compacte à laquelle a succédé pendant $5^m,33$ une argile plus maigre, de couleur jaunâtre, qui s'étend probablement encore davantage en profondeur. L'avancement a varié de $0^m,90$ à $1^m,90$ par jour. Mais il aurait fallu percer encore au moins une dizaine de mètres pour arriver au plafond du canal, et comme ce résultat n'a pu être obtenu, nous avons dû prévoir dans les calculs de la commission une proportion notable de roches dures, de nature analogue à celles que l'on voit sur la rive droite disparaître sous les

alluvions et dont la profondeur sur le tracé du canal est totalement inconnue.

Ce défilé passé, on arrive à la grande plaine qui s'étend depuis l'embouchure du rio Agua-Salud jusqu'à Barbacoas, en passant par Frijol et Tabernilla. Nous n'avons pu établir de sondages dans cette partie du parcours, parce que nous en avions d'autres à pratiquer qui nous ont paru plus urgents ou plus intéressants : mais en revanche les environs de Barbacoas ont pu être étudiés avec le plus grand soin, à cause d'une circonstance tout à fait exceptionnelle et indépendante de notre volonté.

En effet, le débordement du Chagres, qui a, le 25 novembre 1879, déplacé les piles du pont de Barbacoas, et interrompu la circulation des trains pendant un mois, est survenu au moment même où les chefs sondeurs qui nous avaient précédés dans l'isthme allaient débarquer à Colon, et les a empêchés de transporter leurs outils jusqu'à Panama. Arrêtés en ce point par cet obstacle matériel tout fortuit, et ne pouvant exécuter les instructions qui leur avaient été données au départ, ils ont monté quatre de leurs équipages de sonde dans les environs de ce point, deux dans le lit ou sur le bord même de la rivière, le troisième sur la rive gauche, le quatrième sur la rive droite.

Sur le bord de la rivière, et à 1.500 mètres environ en aval du pont, le premier a trouvé, sur une profondeur de 20^{m},50, des graviers et des sables sans cohésion, formés des débris de toutes les roches déjà connues, et dans lesquels on distingue à l'œil nu ou à la loupe des fragments blancs, verdâtres, rougeâtres, de trachytes, trachy-dolérites, etc., avec une grande quantité de quartz et de fer oxydulé ; l'autre, installé sur un îlot au milieu même du lit de la rivière et à 200 mètres en aval du pont, a rencontré d'abord du sable et des cailloux roulés sur une épaisseur de 10 mètres : mais il est ensuite tombé sur des argiles grasses, compactes, de couleur variée, et généra-

lement tendres, bien qu'à la profondeur de 18^{m},20 on en ait rencontré une couche assez dure de 2^{m},40 d'épaisseur. Ce sondage a atteint la profondeur de 20^{m},60.

A 500 mètres de là, sur la rive gauche, le troisième sondage, de 22^{m},17 de profondeur, n'a rencontré que du sable et des cailloux roulés, avec des veines d'argile bleuâtre, tandis que le quatrième, placé sur la rive droite, tout près et au niveau du chemin de fer, élevé en ce point de 12 mètres environ au-dessus des eaux moyennes du Chagres, a rencontré d'abord une couche de terre végétale rouge de 1^{m},05 d'épaisseur, puis des argiles rougeâtres ou jaunâtres paraissant être des tufs décomposés, enfin les tufs eux-mêmes, identiques à ceux que l'on voit sur la culée droite du pont de Barbacoas, et qu'il a traversés jusqu'au fond à une profondeur de 29^{m},20, soit jusqu'au-dessous du plafond du canal.

Dans le passage de Tabernilla à Barbacoas, il sera donc nécessaire, pour éviter autant que possible ces tufs d'une certaine dureté, de rester toujours sur la rive gauche de la rivière, de manière à se maintenir d'une manière générale dans les graviers et les sables.

C'est de Barbacoas à la Gorgona que l'on trouvera la partie la plus dure à excaver, en exceptant bien entendu la grande tranchée du massif central.

On y aura d'abord affaire aux tufs verdâtres assez durs de San-Pablo, dont il faudra nécessairement recouper la pointe après avoir traversé le Chagres (un sondage placé à San-Pablo même et poussé jusqu'à 19^{m},31 les a traversés sur toute sa profondeur), puis aux divers conglomérats de Baïla-Monos, Mameï, Juan-Grande, etc., dont j'aurais voulu étudier de plus près la distribution; mais, ainsi que je l'ai dit, le temps et les moyens m'ont manqué. J'estime que, quand on arrivera à la période d'exécution du canal, c'est un des points où il sera le plus nécessaire non seulement d'épouser le plus près possible les sinuosités de la

rivière pour éviter les roches plus ou moins dures des mamelons qui la bordent, mais encore de pratiquer des sondages assez nombreux et d'en discuter avec soin les résultats, parce qu'un léger déplacement de l'axe du canal pourra amener des économies notables non pas tant par la quantité de cube à extraire que par la dureté variable des divers terrains excavés.

De la Gorgona à Matachin, la vallée s'élargit : les berges, souvent assez élevées, laissent habituellement voir sur une grande épaisseur les alluvions plus ou moins terreuses de la rivière; mais de loin en loin cependant, et notamment à Matachin et à la Gorgona même, comme au fond de la boucle que fait la rivière entre les deux villages, on y voit pointer des conglomérats très durs. Il faudra donc encore surveiller et étudier avec soin, même en ce point, le dernier tracé d'exécution.

De Matachin à Pedro-Miguel, c'est-à-dire à la traversée du massif central et au point où se trouvera la grande tranchée, nous n'avons cru devoir placer aucun sondage. En effet, sur toute cette section, la roche dure, résistante, simplement recouverte par la terre végétale, quelquefois par des argiles ou des alluvions peu épaisses, ne nous aurait probablement pas permis, par suite de la faible profondeur à laquelle on serait arrivé pendant notre séjour, d'obtenir des résultats utiles. Nous avons dû par conséquent, dans nos calculs de déblais, compter tout le massif comme s'il était de même nature que les roches trouvées à la surface et admettre que la masse tout entière de la montagne était aussi résistante que le dessus. C'est là d'ailleurs une prévision qui se réalisera très probablement, puisque depuis Matachin, où la rivière est située à la cote 14, jusqu'à Pedro-Miguel, situé à la cote 12, abstraction faite des argiles de la surface, on n'observe sur tout le parcours et à tous les niveaux jusqu'à celui de 90 mètres que des roches absolument dures. Il ne faut pas oublier

cependant, d'une part, que certaines argiles pourront peut-être acquérir une épaisseur inattendue (*), de l'autre que nous n'avons point affaire ici à des roches primitives qui s'étendent toujours indéfiniment en profondeur, mai à des matières d'origine volcanique dont les coulées on dû s'étaler sur des terrains dont la nature nous est inconnue, puisqu'ils n'apparaissent nulle part dans le massif central, et que rien ne s'opposerait à ce que l'on trouvât à une certaine profondeur des formations beaucoup plus tendres que celles dont nous avons pu constater l'existence à la surface. Nous ne saurions trop insister sur ce point, et nous le répéterons encore : la *probabilité* est que l'on rencontrera dans l'exécution du canal, soit dans la vallée de l'Obispo, soit à la traversée du col de Culebra, soit dans la haute vallée du rio Grande, les conglomérats, les brèches et les trachydolérites qui affleurent le long de la ligne du chemin de fer et qui constituent évidemment un ensemble tout spécial devant caractériser cette section; mais on ne doit pas tout à fait abandonner l'espoir, et il y a *possibilité*, de rencontrer sous ces roches dures des terrains moins compacts et plus tendres, et notamment les formations trachytiques, inférieures, comme on le sait, aux précédentes.

Nous entrons ici dans la troisième et dernière section du canal, qui emprunte sur toute sa longueur la vallée du rio Grande : la plus grande partie sera creusée dans les alluvions ou les dépôts des vastes marais qui le bordent, dans lesquels il nous a été difficile de recueillir des échantillons de roche, car c'est tout au plus si l'on trouve dans le lit du haut rio Grande ou de ses affluents des débris de roches doléritiques entraînées et originaires des

(*) Un sondage effectué depuis notre départ de l'isthme a traversé les argiles du col de la Culebra à côté de la ligne du chemin de fer sur une épaisseur de 12 mètres. Il n'a pas été poussé plus loin, mais on n'était pas encore arrivé à la roche dure. Ce résultat confirme ce qui est dit plus haut.

montagnes environnantes; mais rien n'indique, *a priori*, qu'il faille se tenir à gauche plutôt qu'à droite du lit même de la rivière. Si des sondages ultérieurs montrent que les derniers contreforts doléritiques et très durs du massif du San-Juan plongent assez rapidement pour qu'on n'ait pas à craindre de les rencontrer, on pourra même suivre sur presque toute sa longueur la direction générale du thalweg de la rivière; on ne rencontrera, dans ce cas, que quelques tufs trachytiques peu importants, analogues aux tufs voisins de la ligne du chemin de fer.

A l'embouchure, au contraire, il faudra nécessairement se jeter sur la droite pour éviter les dolérites du Gavilancito, dont on retrouve, comme on l'a dit, un dernier pointement à l'embouchure même (rive gauche), près du village d'el Pueblo, tandis qu'un sondage que j'ai fait placer sur l'autre rive et qui a été poussé jusqu'à la profondeur de $13^{m},18$ n'a rencontré que des sables gris ou noirs coquilliers et des vases argileuses.

On pourra ainsi, je l'espère, passer sans difficulté l'étranglement qui se trouve à l'embouchure du rio Grande, et on n'aura plus alors qu'à aller rejoindre par une large courbe, dans la baie de Panama, les fonds de $8^{m},50$ abrités par le groupe des petites îles de Naos, Perico, Flamenco, etc., et servant actuellement au mouillage des navires qui partent de là soit pour la Californie soit pour les mers du Sud; on ne rencontrera sur cette section que des sables ou des vases tendres, ainsi que cela résulte de nombreux travaux hydrographiques exécutés depuis déjà de longues années dans la baie, ainsi que des deux ou trois sondages que j'ai fait faire pendant notre séjour sur l'alignement même du canal.

Le résumé des résultats que je viens d'indiquer et auxquels je suis arrivé, soit par mes observations personnelles, soit par la discussion des données fournies par les sondages, est représenté d'une façon simple et nette dans le tableau suivant :

SECTIONS		PROPORTION CENTÉSIMALE au-dessous de l'eau			PROPORTION CENTÉSIMALE au-dessus de l'eau		
DÉSIGNATION.	longueur approximative.	des terres.	des roches demi-dures dragables.	des roches dures.	des terres.	des roches demi-dures.	des roches dures
	mèt.						
Baie de Limon.	1.200	80	20	»	»	»	»
De Colon à Gatun.	3.400	100	»	»	100	»	»
Id.	800	»	100	»	80	20	»
Id.	1.450	100	»	»	100	»	»
Id.	1.450	»	100	»	80	20	»
De Gatun à Loma del Tigre	3.900	100	»	»	100	»	»
De Loma del Tigre à Loma del Lion.	1.000	80	»	20	90	»	10
De Loma del Lion à Vamos-Vamos.	1.600	100	»	»	100	»	»
Id.	850	50	50	»	80	20	»
Id	2.650	100	»	»	100	»	»
Id.	800	»	»	100	50	»	50
De Vamos-Vamos à Buhio-Soldado.	3.200	100	»	»	100	»	»
De Buhio-Soldado à Buena-Vista.	2.100	50	»	50	90	»	10
De Buena-Vista à Tabernilla . . .	7.650	100	»	»	100	»	»
De Tabernilla au pont de Barbacoas.	2.200	75	»	25	90	10	»
Du pont de Barbacoas à Matachin.	1.200	25	»	75	75	25	»
Id.	1.450	»	»	100	67	»	33
Id.	8.350	»	»	100	67	»	33
De Matachin à Pedro-Miguel. . . .	15.200	»	»	100	épaisseur de 4 mèt. à la surface	»	100
De Pedro-Miguel à la mer.	3.400	80	»	20	80	»	20
Id.	7.650	90	»	10	90	»	10
Baie de Panama.	2.800	100	»	»	100	»	»
	74.300						

Je terminerai enfin en disant quelques mots de la pente des talus prévue par la commission pour le profil en travers du canal.

Cette pente doit dépendre de deux éléments principaux, savoir la nature *actuelle* des terrains ou des roches, puis leur sensibilité plus ou moins grande aux agents atmosphériques, qui peut amener des phénomènes *ultérieurs* et modifier les conditions de leur tenue.

Pour les terres, on a déja vu qu'elles étaient habituellement maigres, peu coulantes, et que les alluvions du Chagres prenaient naturellement des talus assez raides sur les berges de la rivière. La commission a donc pensé qu'il suffisait de prévoir en moyenne des talus de $\frac{1}{1}$, les sections où cette pente ne suffira pas devant être certainement com-

pensées par celles où la compacité des terrains encaissants permettra au contraire de la diminuer.

Dans tous les terrains de cette espèce, le profil adopté est celui de la figure n° 1.

Dans les sections rocheuses, au contraire, il fallait, pour réduire autant que possible le cube à enlever, diminuer la largeur au plan d'eau et augmenter la raideur des talus.

Il aurait été pour cela extrêmement utile de pouvoir observer quelques directions de cassure ou de clivage qui auraient donné des indications précieuses à ce point de vue : mais nous ne reviendrons pas sur l'impossibilité qu'il y avait à en déterminer même un petit nombre, et nous dirons immédiatement que la dureté tout à fait exceptionnelle des roches que l'on rencontrera notamment dans la section de la Culebra permettra probablement de leur donner une pente très raide : mais, étant donnée la hauteur de la tranchée principale et l'inconnu qui règne encore en partie sur cette portion du tracé, il n'a pas paru prudent à la commission de réduire le talus au dessous de $\frac{1}{4}$, ce qui a conduit au profil n° 2.

Quant aux résultats de la décomposition due aux agents atmosphériques, ils ne se feront probablement sentir dans les parties rocheuses qu'avec une grande lenteur, à cause de leur dureté exceptionnelle, et il a été admis que les travaux qu'elle amènerait rentreraient facilement dans l'entretien annuel.

C'est la combinaison du tableau précédent avec ces résolutions et avec le résultat des nivellements opérés sous la direction de la commission qui a permis de dresser le tableau du cube à extraire qui figure dans son rapport sommaire, signé à Panama le 14 février 1880, et que je crois devoir reproduire ici en terminant :

Cube à extraire.

SECTIONS	AU DESSOUS DE L'EAU		
—	terres.	terrains durs dragables.	roches dures.
S. de l'Atlantique	9.330.000	300.000	3.775.000
S. de la Culebra	»	»	2.634.000
S. du Pacifique	2.675.000	»	377.000
Totaux partiels	12.005.000	300.000	6.786.000

	AU DESSUS DE L'EAU		
	terres.	roches demi-dures.	roches dures
S. de l'Atlantique	23.710.000	825.000	3.060.000
S. de la Culebra	2.167.000	»	23.199.000
S. du Pacifique	1.473.000	»	1.475.000
Totaux partiels	27.350.000	825.000	27.734.000

Total général : 75.000.000 mètres cubes.

Paris, le 13 juin 1880.

RAPPORT

SUR

LES DIVERS SYSTÈMES DE SIGNAUX EN USAGE

ET L'APPLICATION

DES APPAREILS D'ENCLANCHEMENT

POUR LA PROTECTION DES BIFURCATIONS

Par M. E. HEURTEAU, ingénieur des mines,
Sous-Chef de l'exploitation du chemin de fer d'Orléans.

L'Administration supérieure a demandé l'avis du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer sur les systèmes de signaux en usage sur les divers réseaux pour la protection des bifurcations, et notamment sur les dispositions mécaniques qui, au moyen d'enclanchements réciproques des disques de protection et des aiguilles, permettent d'éviter toute fausse manœuvre.

La note du service central était ainsi conçue :

« L'attention de l'Administration supérieure s'est portée « sur l'intérêt que présentait l'adoption par les diverses « Compagnies d'un système de signaux uniforme pour as- « surer le passage des trains aux bifurcations.

« Le système employé sur le réseau du Nord, et d'après « lequel le signal carré d'*arrêt absolu* ne donne la voie « libre que lorsque le levier est maintenu par l'aiguilleur « de la bifurcation, présente d'incontestables avantages, « attendu que, dans ces conditions, on est absolument « certain que deux directions ne sont pas ouvertes en « même temps.

« Un autre système (Saxby et Farmer), qui établit par « des enclanchements une solidarité complète entre les « aiguilles et les signaux des bifurcations, est en usage

« sur le réseau de la Méditerranée. Il rend également « impossible, *si les mécaniciens obéissent aux signaux*, « toute rencontre de trains sur ces points dangereux.

« Dans une question aussi grave, l'Administration supé« rieure, avant d'adresser une communication aux Com« pagnies, désire connaître l'avis du Comité de l'exploita« tion technique sur le mérite des divers appareils employés « aux bifurcations.

« Le président du Comité est prié de nommer une sous« commission qui sera chargée d'étudier les différents « systèmes et de rendre compte des résultats obtenus.

« Après avoir pris connaissance du rapport de la sous« commission et en avoir délibéré, le Comité voudra bien « donner son avis sur les deux questions suivantes :

« 1° Convient-il de signaler aux Compagnies l'opportu« nité d'uniformiser les systèmes de signaux destinés à « protéger les bifurcations?

« 2° Dans le cas de l'affirmative, que lest le système qu'il « y a lieu de recommander aux Compagnies comme garan« tissant le mieux la sécurité publique? »

La sous-commission qui a été nommée (*), conformément à la demande de l'Administration supérieure, m'a fait l'honneur de me charger de rendre compte au comité du résultat de ses études, et de lui soumettre ses conclusions.

On désigne généralement sous le nom « d'*interlocking system* » les combinaisons mécaniques ayant pour objet de solidariser par des enclanchements les leviers de manœuvre d'un groupe d'aiguilles et de signaux, de telle sorte qu'il soit matériellement impossible de manœuvrer ces aiguilles et ces signaux dans des conditions autres que celles où la

---

(*) Cette sous-commission était composée MM. Luuyt, ingénieur en chef des mines, *président*; Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée; Heurteau, ingénieur des mines, *rapporteur*.

sécurité se trouve assurée. Tout en acceptant cette appellation, empruntée à la langue du pays où les systèmes d'enclanchement ont reçu dans les dernières années les perfectionnements les plus importants et les applications les plus étendues, il n'est pas inutile de rappeler, dès le début de cette étude, que c'est en France que ces systèmes ont pris naissance. Il y a vingt-cinq ans que la compagnie des chemins de fer de l'Ouest a fait les premières applications de l'ingénieux appareil imaginé par M. Vignier, et qui permet, ainsi que nous le démontrerons, de réaliser toutes les combinaisons d'enclanchements imaginables entre les leviers de manœvre des mâts de signaux et des aiguilles. Le principe de cet appareil consiste à relier les leviers qu'on veut enclancher à deux séries de tringles métalliques qui se déplacent longitudinalement dans deux directions perpendiculaires, les unes percées de trous, les autres faisant office de verrous lorsque, pour certaines positions relatives des deux leviers, elles viennent s'engager dans les vides des premières.

La compagnie de l'Ouest applique aujourd'hui l'appareil Vignier en un grand nombre de points de son réseau, et notamment à toutes ses bifurcations. Les compagnies du Nord, du Midi et de Paris-Lyon-Méditerranée en ont également fait de nombreuses et utiles applications.

MM. Saxby et Farmer ont repris plus tard la même idée; mais ils l'ont très heureusement complétée en imaginant un système de transmission par tiges rigides qui permet de manœuvrer les aiguilles à grande distance. Ils ont pu ainsi concentrer dans un petit espace tous les leviers d'aiguilles et de mâts de signaux d'un groupe de voies assez étendu, et les réunir dans un même poste sous la main d'un seul aiguilleur. Il est alors facile d'enclancher ces leviers deux à deux, soit avec l'appareil Vignier, soit au moyen de toute autre combinaison mécanique possédant les mêmes propriétés, de façon à assurer mécaniquement

l'exécution de la consigne qui doit régler les manœuvres du poste d'aiguilleur.

Les dispositions adoptées par MM. Saxby et Farmer, très ingénieusement conçues et très complètement étudiées dans tous leurs détails, forment un ensemble très complet qui peut aujourd'hui servir de type pour toutes les installations du même genre. En Angleterre leur application est aujourd'hui générale. En France, les appareils Saxby et Farmer ont été adoptés par les compagnies de Lyon, d'Orléans, du Nord et de l'Est, et ils ont reçu sur chacun de ces réseaux des applications importantes. Ils fonctionnent aujourd'hui : sur le réseau de Lyon, à Villeneuve-Saint-Georges, à Nîmes, à Moret et à la gare de Lyon-Guillotière; sur le réseau d'Orléans, à la gare de Paris et à la bifurcation de Brétigny; sur le réseau du Nord, à Amiens et à Boulogne; sur le réseau de l'Est, aux bifurcations de Gretz et de Chalindrey. De nouvelles applications sont en ce moment en cours d'exécution ou à l'étude. La compagnie de l'Ouest, tout en restant fidèle au système d'enclanchement adopté dès l'origine par M. Vignier, en a modifié les dispositions pour le combiner avec la manœuvre des aiguilles à longue distance et avec la concentration du grand nombre de leviers de manœuvre sur la table d'enclanchement. Ces dispositions nouvelles ont été appliquées avec succès à la bifurcation de la ligne de Cherbourg avec celles de Courseulles et de Flers, à la sortie de la gare de Caen.

Pour se rendre compte des propriétés mécaniques de ces différents appareils, des conditions de leur installation et de la manière dont les différentes compagnies les appliquent pour la protection de leurs bifurcations, la sous-commission a successivement visité les installations du système Saxby et Farmer à Lyon-Guillotière, à Brétigny, à la gare de la compagnie d'Orléans à Paris, et à la bifurcation de Gretz, ainsi que celles du système Vignier modifié à la gare de

Caen; elle s'est transportée aux bifurcations de Pontoise, d'Ermont et de Viroflay pour étudier l'application de l'ancien appareil Vignier sur les réseaux du Nord et de l'Ouest. Nous devons faire connaître au comité les résultats ce cet examen.

Pour que notre étude soit complète, nous devons en premier lieu examiner et comparer l'organisation des signaux de bifurcation sur les différents réseaux. Nous rechercherons ensuite comment les systèmes d'enclanchement peuvent s'y adapter, à quelles conditions mécaniques ces systèmes doivent satisfaire, enfin comment ces conditions sont remplies dans les divers appareils soumis à notre examen.

I. — Examen comparatif des dispositions adoptées par les différentes compagnies pour l'organisation et la réglementation des signaux de bifurcation.

Les règlements des signaux de bifurcation en vigueur sur les différents réseaux se divisent tout d'abord en deux catégories bien distinctes, suivant l'usage qu'on y fait des appareils d'enclanchement, et suivant le rôle qu'on leur assigne. Les compagnies du Nord (*), de l'Est, d'Orléans et du Midi appliquent les mêmes règles à toutes leurs bifurcations, qu'elles soient ou qu'elles ne soient pas munies d'appareils d'enclanchement. Les signaux sont donc disposés, et la consigne de l'aiguilleur est formulée, de manière à assurer la sécurité indépendamment de tout appareil d'enclanchement; en introduisant ces appareils pour assurer mécaniquement l'exécution de la consigne du poste, on ne modifie pas cette consigne; on se donne seulement ainsi

(*) Depuis la rédaction de ce rapport, la Compagnie du Nord a décidé, en principe, que toutes ses bifurcations seraient munies d'appareils d'enclanchement, et elle a modifié, en conséquence, son règlement des signaux. Voir à ce sujet la note page 67.

un supplément de sécurité, en se mettant en garde contre les conséquences d'une erreur ou d'une négligence de l'aiguilleur. La compagnie de l'Ouest au contraire, ayant établi des appareils d'enclanchement à toutes ses bifurcations, a disposé ses signaux et rédigé ses règlements en tenant compte des propriétés de ces appareils et de la sécurité qu'ils procurent, et elle en a profité pour se donner de plus grandes facilités dans l'organisation du service. La compagnie de Lyon, qui transforme en ce moment ses signaux de bifurcation en généralisant l'usage des appareils d'enclanchement, applique aux bifurcations qui sont munies de ces appareils un nouveau règlement qui, comme celui de l'Ouest, fait reposer dans une certaine mesure la sécurité sur les propriétés de ces appareils.

Les règlements de la première catégorie, ceux par conséquent qui doivent assurer la sécurité, abstraction faite des appareils d'enclanchement, reposent tous sur un même principe, à savoir : *l'interdiction absolue de donner passage à deux trains à la fois sur les voies d'une bifurcation.* L'observation de cette règle assure évidemment la sécurité d'une manière complète; toutefois elle n'est pas théoriquement nécessaire, au moins sous cette formule absolue. S'il s'agit par exemple d'une bifurcation à double voie, il n'y a de danger de collision qu'entre deux trains abordant l'une et l'autre la bifurcation par le talon, ou entre l'un de ces trains et un train arrivant en sens inverse par la pointe des aiguilles et se dirigeant vers la voie de droite. Un train abordant la bifurcation par la pointe et se dirigeant vers la gauche peut au contraire passer sans danger en même temps qu'un train quelconque venant en sens inverse. Mais, s'il doit suffire d'une erreur de l'aiguilleur pour amener une collision, il importe avant tout de lui donner une consigne simple, facile à comprendre et à exécuter. Pour éviter tout malentendu, le plus simple et le plus sûr est d'interdire d'une manière absolue le passage simultané

de deux trains. On peut au contraire se départir de cette règle, si par des combinaisons d'enclanchement on rend toute erreur de l'aiguilleur impossible; on peut alors sans inconvénient lui donner une consigne plus compliquée, à la condition de traduire en quelque sorte mécaniquement cette consigne, de telle manière qu'en aucun cas on ne puisse donner aux signaux et aux aiguilles d'autres positions relatives que celles que la consigne autorise, et qui correspondent aux mouvements de trains pouvant s'effectuer sans danger de collision. C'est d'après ce dernier principe qu'est établi le règlement des signaux des bifurcations de la compagnie de l'Ouest, ainsi que le nouveau règlement de la compagnie de Lyon applicable seulement aux bifurcations munies d'appareils d'enclanchement.

Un second principe est commun aux règlements de signaux de bifurcation de toutes les compagnies, sauf celle de l'Ouest. Il consiste à couvrir constamment les trois branches d'une bifurcation par des mâts de signaux qui sont maintenus normalement tournés à l'arrêt, et qui ne doivent être ouverts que successivement, et dans les conditions prescrites par la consigne de l'aiguilleur, pour donner passage aux trains venant de l'une ou de l'autre des trois directions. La compagnie de l'Ouest distingue au contraire la direction la plus importante, qui est considérée comme la ligne principale, et qui est normalement ouverte au passage des trains. L'autre direction est seule fermée à l'état normal; elle ne doit s'ouvrir qu'après qu'on a disposé les aiguilles dans la position convenable, et après qu'on a fermé les signaux de la ligne principale de façon à couvrir le passage des trains de l'embranchement.

Les règlements des compagnies du Midi, du Nord, de l'Est et d'Orléans ne sont que des applications des deux principes que nous venons d'énoncer : *Interdiction absolue d'ouvrir la voie à deux trains à la fois. Fermeture constante des trois branches d'une bifurcation par des signaux*

maintenus normalement à l'arrêt. Mais ces applications diffèrent naturellement suivant les systèmes de signaux adoptés par les différentes compagnies et suivant les règles admises pour leur interprétation.

Pour nous rendre compte de ces différences, et pour en apprécier l'importance, nous devons analyser sommairement les prescriptions des règlements généraux des diverses compagnies qui sont relatives aux signaux de bifurcation.

1° ***Réseau du Nord.*** — Sur le réseau du Nord, chacune des trois directions d'une bifurcation est protégée par trois signaux :

Un signal fixe à damier vert ou ***indicateur de bifurcation***, placé à 800 mètres de la pointe des aiguilles ;

Un signal carré d'arrêt absolu, doublé d'un pétard, et placé à 60 mètres en avant de la bifurcation ;

Un disque à distance, disposé de manière à couvrir les trains arrêtés à la bifurcation ;

Enfin des ***indicateurs de direction*** sont placés sur l'aiguille abordée par la pointe, et ils indiquent la direction pour laquelle l'aiguille est faite.

Les trois signaux d'arrêt absolu qui couvrent la bifurcation sont normalement tournés à l'arrêt. Les trois disques à distance sont, au contraire, normalement ouverts. En passant devant le signal fixe ***indicateur de bifurcation***, le mécanicien doit, suivant les termes de l'ordre de service 1714, commencer aussitôt à ralentir de manière à être arrêté complètement au disque d'arrêt, si celui-ci est fermé. Si rien ne s'oppose au passage du train, l'aiguilleur attend, pour ouvrir le disque d'arrêt, que le train en soit arrivé à 100 ou 150 mètres : le train franchit alors la bifurcation sans arrêt, mais avec une vitesse réduite qui ne doit en aucun cas dépasser 20 kilomètres pour les trains de

voyageurs et 10 kilomètres pour les trains de marchandises. Ces vitesses sont d'ailleurs contrôlées au moyen de deux poteaux, placés l'un près du disque d'arrêt et l'autre à 100 mètres au delà, et dont la distance ne doit pas être franchie en moins de 18 secondes pour les trains de voyageurs et de 36 secondes pour les trains de marchandises.

Pour compléter cette description succincte, nous devons ajouter que les disques d'arrêt absolu sont disposés de telle sorte qu'ils se tournent d'eux-mêmes à l'arrêt aussitôt que l'aiguilleur abandonne le levier de manœuvre. Cette disposition ingénieuse a été décrite par M. Brame, en 1867, dans son ouvrage sur les signaux de chemins de fer à double voie. L'aiguilleur étant obligé de maintenir le levier du disque pour tenir celui-ci ouvert, il lui est évidemment impossible de donner la voie à deux trains à la fois. La seule critique qu'on puisse adresser à ce système, c'est que l'aiguilleur, occupé au levier du disque, ne peut au passage du train maintenir l'aiguille prise en pointe; en réalité cela peut ne pas avoir de grands inconvénients, si la vitesse du train est effectivement réduite comme le prescrit le règlement; ce serait cependant une objection sérieuse contre l'application de ce système sur d'autres réseaux, tels que le réseau d'Orléans, où les règlements généraux prescrivent formellement de maintenir toute aiguille prise en pointe que franchit un train, si celui-ci se trouve à plus de 200 mètres de son point de départ. Un système d'enclanchement, rendant solidaire les leviers de manœuvre des trois disques de façon à ne permettre d'en ouvrir qu'un à la fois, remplirait d'ailleurs très simplement le même but (*).

(*) Postérieurement à la rédaction de ce rapport, la compagnie du Nord a fait approuver par l'Administration supérieure un nouveau règlement dans lequel il est spécifié que l'interdiction de donner passage à deux trains à la fois sur les voies d'une bifurcation ne s'appliquera plus à l'avenir aux bifurcations qui seront

2° *Réseau de l'Est.* — Les dispositions des signaux des bifurcations sur le chemin de fer de l'Est sont les mêmes que sur le réseau du Nord, sauf l'absence des signaux fixes indicateurs de bifurcation. Mais, contrairement à ce qui se passe sur le réseau du Nord, les disques avancés, aussi bien que les disques spéciaux d'arrêt absolu placés en avant des aiguilles, sont normalement tournés à l'arrêt sur les trois directions. Aux coups de sifflet qui annoncent un train, l'aiguilleur doit, si la voie est libre, effacer le disque avancé puis le fermer immédiatement après le passage du train; s'il y a plusieurs trains en vue, l'aiguilleur n'efface le disque avancé que pour un seul; les autres, *après s'être arrêtés aux disques avancés qu'ils ont trouvés à l'arrêt*, avancent lentement jusqu'au disque spécial. Dans tous les cas le train s'arrête à la bifurcation, avant de franchir le disque spécial que l'aiguilleur ne doit ouvrir qu'après que le train s'est arrêté. Le règlement des bifurcations de la compagnie de l'Est est donc plus rigoureux que celui du Nord; il en diffère sur deux points importants : 1° tous les trains sans distinction s'arrêtent avant de franchir les bifurcations: 2° un train qui doit trouver la bifurcation fermée est arrêté une première fois par le disque avancé avant de l'être définitivement par le disque spécial, tandis que sur le réseau du Nord le mécanicien, à qui il n'est d'ailleurs pas prescrit de marquer l'arrêt à l'aiguille mais simplement de se rendre maître de sa vitesse, arrive jus-

---

munies d'appareils d'enclanchement. — Les disques de ces bifurcations doivent être munis de crans d'arrêt, de façon à permettre leur effacement simultané dans certains cas. Toutes les aiguilles prises en pointe doivent être munies de verroux.— Enfin l'emplacement des signaux a été également modifié. L'indicateur de la bifurcation doit être placé à 800 mètres, et le disque à la distance de 1.200 mètres, non pas de la pointe des aiguilles, mais du disque carré d'arrêt absolu; cette dernière distance est portée à 900 ou 1.300 mètres quand la voie présente une pente égale ou supérieur à 4 millimètres.

qu'à moins de 150 mètres de l'aiguille avant de savoir si le passage lui sera permis ou refusé.

3° *Réseau de Paris-Lyon-Méditerranée.* — La compagnie de Lyon applique, ainsi que nous l'avons dit, deux règlements de signaux différents à ses bifurcations, suivant que celles-ci sont ou ne sont pas munies d'appareils d'enclanchement. Ce dernier cas deviendra d'ailleurs le cas général, la compagnie de Lyon se proposant d'étendre l'application du système Saxby et Farmer à toutes ses bifurcations.

Les bifurcations ordinaires sont protégées sur chacune des trois branches par un sémaphore; celui-ci est précédé d'un *signal d'avertissement fixe*, éclairé la nuit, placé à 1,200 mètres des aiguilles et sur lequel est écrit le mot *bifurcation*. Des poteaux portant l'inscription *arrêt* en caractères éclairés la nuit sont placés à 100 mètres en avant des sémaphores; ils indiquent le point que le train ne doit pas franchir, si le sémaphore est à l'arrêt. Des disques avancés sont disposés de façon à protéger les trains arrêtés aux abords de la bifurcation; comme sur le réseau du Nord, ces disques sont normalement ouverts. En passant devant le signal fixe d'avertissement, le mécanicien doit ralentir sa marche et être en mesure de s'arrêter complètement s'il trouve le sémaphore à l'arrêt. Dans le cas contraire, le train poursuit sa marche; mais sa vitesse au passage de la bifurcation ne doit pas dépasser celle d'un homme marchant au pas. Cette organisation est, on le voit, presque identique à celle des bifurcations du réseau du Nord, sauf la dernière prescription relative à la vitesse maximum des trains au passage des bifurcations. Cette prescription est plus rigoureuse sur le réseau de Lyon que sur le réseau du Nord.

Quant aux bifurcations du réseau de Lyon munies d'appareils d'enclanchement, leur organisation est un peu plus complexe. Chaque branche de la bifurcation est protégée :

1° par un signal carré d'arrêt absolu normalement fermé, et placé à 100 mètres en avant des aiguilles; 2° par un signal à distance, également fermé à l'état normal, et placé à la distance voulue pour protéger les trains arrêtés à la bifurcation; 3° par un signal fixe d'avertissement portant le mot *bifurcation* éclairé la nuit, et placé près d'un poste dont le garde est chargé d'annoncer par des signaux électriques à l'aiguilleur de la bifurcation l'arrivée des trains et des machines ainsi que leur direction. Ce poste est ordinairement placé dans la station qui précède la bifurcation. Les signaux électriques sont échangés au moyen d'appareils Tyer, modifiés d'une manière très ingénieuse par M. Jousselin, inspecteur principal chargé du service télégraphique sur le réseau de Lyon, de façon à permettre, en plus de la transmission des signaux ordinaires du Tyer, l'annonce de la nature des trains, de leur destination, et des manœuvres qu'ils peuvent avoir à exécuter sur les voies que commande l'aiguilleur de la bifurcation. Enfin un sémaphore, placé près des aiguilles de la bifurcation, remplit l'office de signal d'indicateur d'aiguilles. Sur les trois branches de la bifurcation tous les signaux sont normalement tournés à l'arrêt, quand aucun train n'est annoncé; l'aiguilleur, recevant l'annonce d'un train, prépare les aiguilles et les signaux pour le recevoir; si la voie est libre, le train trouve tous les disques ouverts devant lui, et il franchit la bifurcation avec une vitesse réduite qui ne doit pas dépasser 20 kilomètres. Si au contraire, la voie n'étant pas libre, le train doit s'arrêter à la bifurcation, il trouve d'abord le disque avancé à l'arrêt; le mécanicien doit alors mettre son train à la vitesse d'un homme marchant au pas; puis il s'avance lentement et avec la plus grande prudence, de manière à pouvoir toujours s'arrêter dans la partie de voie qui est en vue, s'il se présente un obstable ou un nouveau signal. Il s'avance ainsi, s'il ne rencontre aucun obstacle sur sa route, jusqu'au signal d'arrêt absolu. Il ne se

remet en route que lorsque ce signal est mis à voie libre. Cette organisation se rapproche donc de celle de la Compagnie de l'Est et diffère au contraire de celle de la Compagnie du Nord sur un point, à notre avis, très important, à savoir que les trains qui doivent trouver la voie fermée à la bifurcation sont arrêtés une première fois par le disque à distance, avant d'arriver jusqu'au disque d'arrêt absolu placé en avant des aiguilles.

Les appareils d'enclanchement de la bifurcation sont disposés de manière à satisfaire aux conditions suivantes :

1° Un signal carré d'arrêt absolu ne peut être mis à l'arrêt qu'après que le disque à distance correspondant a été préalablement mis dans la même position, ce dernier pouvant d'ailleurs être maintenu à l'arrêt quand le signal carré est mis à voie libre ;

2° Chacun des signaux carrés placés du côté du talon des aiguilles ne peut être mis à voie libre que quand les aiguilles sont faites pour donner passage aux trains ou machines provenant de la direction à laquelle s'adresse ce signal carré ;

3° Enfin les signaux carrés sont enclanchés entre eux et avec les aiguilles, de telle sorte qu'ils ne peuvent jamais donner passage simultané à deux trains dans des conditions dangereuses.

Ces conditions étant réalisées, il est évident que toute fausse manœuvre par le fait de l'aiguilleur devient impossible, et qu'aucune collision ne peut se produire, à la condition toutefois que les signaux soient respectés par les mécaniciens.

4° *Réseau d'Orléans.* — Le système de signaux de la compagnie d'Orléans ne comporte pas la distinction admise sur tous les autres réseaux entre les disques d'arrêt absolu et les disques à distance, ces derniers ne commandant que

l'arrêt relatif, et pouvant être franchis avec certaines précautions et dans certaines conditions de vitesse. Tous les signaux d'arrêt commandent l'arrêt absolu, et sur la double voie ils sont toujours doublés de pétards; le mécanicien qui les aperçoit doit prendre immédiatement toutes les mesures nécessaires pour que le train soit complètement arrêté dans le plus bref délai et, s'il se peut, avant le point où se trouve le signal.

Les bifurcations sont couvertes dans les trois directions par un signal avancé qui, comme nous venons de le dire commande l'arrêt absolu, et par un signal fixe de ralentissement placé à 500 mètres au delà du disque à distance. En outre, un mâtereau manœuvré par le jeu de l'aiguille prise en pointe indique au train arrivant par le tronc commun pour quelle direction la voie est faite.

Les trois disques sont en principe tournés au rouge, sauf celui qui correspond à la direction du train attendu. A l'approche d'une bifurcation, les mécaniciens annoncent leur train par des coups de sifflet prolongés. Lorsqu'ils trouvent la voie ouverte, ils obéissent au signal fixe de ralentissement en diminuant la vitesse d'une manière marquée avant d'arriver aux aiguilles, et en restant maîtres de leur vitesse; au passage des croisements celle-ci doit ne pas excéder la moitié de la vitesse normale du train sans être jamais supérieure à 25 kilomètres. Lorsqu'ils trouvent la voie fermée, ils doivent arrêter leur train le plus tôt possible, et, s'il se peut, avant d'atteindre le mât de signal. Le train arrêté ne doit se remettre en marche qu'après que le signal d'arrêt a été supprimé; pendant son stationnement il est couvert, soit comme un train arrêté en pleine voie par un conducteur qui se porte à 800 mètres en arrière, soit au moyen d'un mât spécial dont le levier de manœuvre est placé au pied du mât à distance et qui est manœuvré par le chef de train.

Dans ce système, le nombre des mâts de signaux ma-

nœuvrés par l'aiguilleur de la bifurcation se trouve donc réduit à trois; les trains qui trouvent la voie libre passent sans arrêt avec un simple ralentissement; ceux auxquels la voie est refusée sont arrêtés par les mâts à distance, et ils sont retenus loin des abords de la bifurcation.

5° *Réseau du Midi.* — Sur le réseau du Midi, comme sur celui d'Orléans, les bifurcations sont simplement couvertes sur les trois directions par trois mâts à distance tournés normalement à l'arrêt. Mais sur le Midi ces signaux à distance ne commandent pas l'arrêt absolu. Le mécanicien qui, aux abords d'une bifurcation, trouve le disque avancé à l'arrêt, doit seulement se rendre maître de sa vitesse, et avancer jusqu'à ce que son train soit couvert, c'est-à-dire au delà du poteau qui indique la limite de protection du disque; puis il continue sa marche en se faisant précéder d'un agent porteur d'un signal. Il avance ainsi jusqu'à la bifurcation, qu'il ne doit franchir que sur la vue d'un signal à main vert présenté par l'aiguilleur. Lorsqu'à l'approche d'une bifurcation le mécanicien trouve le disque à distance ouvert devant lui, la conduite qu'il doit tenir dépend de la direction suivie par le train. A chaque bifurcation, on distingue une ligne principale et un embranchement. Les trains de la ligne principale, lorsqu'ils trouvent la voie libre, franchissent la bifurcation avec un simple ralentissement et sans arrêt, sur la vue du signal à main vert présenté par l'aiguilleur; tous les trains de l'embranchement doivent au contraire marquer l'arrêt avant la bifurcation, et ne la franchir que sur l'autorisation de l'aiguilleur.

6° *Réseau de l'Ouest.* — Comme nous l'avons dit, l'organisation des signaux de bifurcation sur le réseau de l'Ouest diffère essentiellement de celle des autres réseaux. A chaque bifurcation on distingue une direction principale sur laquelle

les trains circulent librement, et une direction secondaire normalement fermée; de plus, toutes les bifurcations sont munies d'appareils d'enclanchement qui permettent d'autoriser des passages simultanés de trains sur les croisements. Cette double condition entraîne la nécessité de faire pour chaque bifurcation une consigne spéciale. Nous décrirons, à titre d'exemple, les dispositions adoptées pour la protection des trains au passage de l'embranchement de Viroflay rive droite (voir le diagramme, *fig.* 4, Pl. III).

La ligne principale est celle de Paris-Saint-Lazare à Versailles rive droite. L'embranchement de Viroflay s'en détache vers la gauche de la voie descendante de Paris-Versailles. La bifurcation est protégée du côté du talon des aiguilles, sur chacune des directions de Versailles et de Viroflay rive gauche, par un disque d'arrêt absolu à pétards doublé d'un disque à distance, et du côté de la pointe, dans la direction de Paris, par un simple disque à distance sans signal carré. Un signal fixe d'avertissement à damier blanc et vert, destiné à prévenir les mécaniciens de l'approche de la bifurcation, est adapté à chacun des disques à distances qui sont normalement ouverts; il en est de même du disque carré de la direction de Versailles; le disque carré de la distance de Viroflay est au contraire tourné normalement à l'arrêt. Un signal indicateur de direction fait connaître aux mécaniciens des trains venant de Paris la position de l'aiguille prise en pointe.

Il ne peut évidemment se produire de collision qu'entre un train venant de Viroflay et un train venant de Paris et aiguillé vers Versailles, ou bien entre deux trains venant l'un de Viroflay et l'autre de Versailles. Les autres mouvements peuvent s'effectuer simultanément sans danger. Pour rendre les collisions impossibles, l'aiguille qui relie la voie descendante venant de Paris à la voie descendante du raccordement est conjuguée par un enclanchement avec le signal carré n° 6 destiné à arrêter les trains venant de Vi-

roflay, de telle sorte qu'on ne peut ouvrir ce signal carré qu'après avoir disposé l'aiguille de façon à diriger sur l'embranchement de Viroflay les trains venant de Paris. D'autre part, le signal carré de la direction de Viroflay est lié par un enclanchement avec le disque carré n° 2 et avec le disque avancé n° 4 du côté de Versailles, de telle manière qu'on ne puisse donner passage à un train venant de Viroflay qu'après avoir préalablement fermé les deux disques qui protègent la bifurcation du côté de Versailles. Enfin le disque carré n° 6 de la branche de Viroflay et le disque à distance n° 1 du côté de Paris sont aussi conjugués par un enclanchement, de telle sorte qu'on ne puisse ouvrir le premier qu'après avoir fermé le second.

Les mâts de signaux étant disposés comme nous venons de le dire, et les aiguilles de la bifurcation étant faites normalement pour la direction Paris-Versailles, les trains de la ligne principale peuvent circuler librement sans être arrêtés par aucun signal; les mécaniciens devront seulement, en passant devant le signal fixe indicateur de bifurcation adapté aux mâts avancés, modérer leur vitesse pour franchir les croisements avec une vitesse réduite. Les trains venant de Paris et se dirigeant vers Viroflay trouvent également la voie libre. Dans ce cas l'aiguilleur, prévenu de l'approche du train et de sa direction par les coups de sifflet du machiniste, devra faire l'aiguille pour la direction demandée. En interrogeant le signal indicateur de direction, le mécanicien reconnaîtra si l'aiguille est bien faite pour la bonne direction. Quand bien même d'ailleurs cette aiguille se trouverait faite pour une autre direction que celle que le train doit suivre, elle pourrait être dépassée sans danger. Enfin, si on doit donner passage à un train venant de Viroflay, on ne peut le faire qu'après avoir fermé le disque carré n° 2 et le disque avancé n° 4 du côté de Versailles, ainsi que le disque avancé n° 1 du côté de Paris. Dans ce cas, les trains qui pourraient venir de Versailles, rencontrant le disque

avancé à l'arrêt, s'avanceraient avec prudence et viendraient s'arrêter avant la bifurcation au pied du signal carré; les trains venant de Paris rencontreraient seulement le signal à distance à l'arrêt, et ils s'avanceraient avec prudence jusqu'à la bifurcation, pour s'y arrêter ou pour continuer leur route suivant qu'ils se dirigeraient vers Versailles ou vers Viroflay; ces trains ne courraient d'ailleurs aucun risque de collision, puisque, dans le cas que nous envisageons, le disque carré n° 6 de Viroflay étant ouvert, l'aiguille doit nécessairement se trouver faite de manière à diriger vers Viroflay les trains venant de Paris, ce qui peut toujours se faire sans danger. Dans tous les cas, la sécurité est donc complètement assurée.

Il résulte de l'exposé que nous venons de faire que les règles adoptées pour la protection des trains au passage des bifurcations présentent des différences importantes lorsqu'on passe d'un réseau à un autre.

D'après les dispositions de l'article 37 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, qui sont relatives aux bifurcations, les mécaniciens doivent modérer leur vitesse avant d'aborder un croisement, de telle manière que le train puisse être complètement arrêté avant d'atteindre le croisement si les circonstances l'exigent; en outre, au point d'embranchement doivent être disposés des signaux indiquant le sens dans lequel les aiguilles sont placées.

Nous pouvons constater que ces prescriptions sont régulièrement observées par toutes les compagnies. Plusieurs d'entre elles vont même au delà de ce que prescrit l'ordonnance de 1846, en ce qui concerne l'obligation de réduire la vitesse au passage des bifurcations; c'est ainsi que sur le réseau de l'Est tous les trains doivent s'arrêter en avant de la bifurcation avant d'obtenir la permission de la franchir.

Quant aux signaux destinés à protéger les abords des

bifurcations, nous avons vu en quoi diffèrent les solutions adoptées par les différentes compagnies. Ces différences portent, non seulement sur la forme même des signaux, mais encore sur la nature et sur la signification des ordres qu'ils transmettent aux agents des trains.

Il s'agit d'assurer efficacement la sécurité de la circulation des trains sur ces points dangereux, et d'un autre côté il importe de le faire aussi simplement que possible, sans surcharger le service, et sans entraver la circulation par des mesures de précaution superflues. En pareille matière, il est difficile de poser des règles absolues, et il convient de respecter, dans une certaine mesure, la liberté d'appréciation des ingénieurs à qui incombe la responsabilité de la sécurité de l'exploitation. Dans l'intérieur de chaque réseau, l'organisation et la réglementation des signaux de bifurcations est uniforme; c'est là un grand point. Est-il possible d'obtenir cette même uniformité sur l'ensemble des réseaux français? En théorie, cela serait évidemment désirable. En pratique, cela nous paraît bien difficile à réaliser. Nous ne pensons pas qu'on puisse songer à imposer aux compagnies un système de signaux uniforme par voie de réglementation administrative. On ne pourrait le faire sans déplacer les responsabilités d'une manière fâcheuse. Ne serait-il pas, en effet, bien difficile d'imposer à certaines compagnies, dans un but d'uniformité, un règlement de signaux moins rigoureux que leur règlement propre? Ne devrait-on pas, par exemple, hésiter à imposer à la compagnie de l'Est un règlement d'après lequel les trains qui trouvent la voie libre devraient franchir les bifurcations sans arrêt, comme cela se fait en effet sur la plupart des réseaux, alors que cette compagnie juge nécessaire pour la sécurité de faire arrêter tous ses trains sans distinction avant d'aborder les croisements? A défaut de l'intervention administrative, l'uniformité pourrait être établie par un accord entre toutes les compagnies intéres-

sées. En théorie, cet accord n'est évidemment pas impossible à réaliser en France, comme il l'a été déjà dans des pays voisins; mais, en pratique, la mise en application du règlement uniforme soulèverait de bien grosses difficultés. Sans parler des dépenses considérables qu'entraînerait pour chaque compagnie la transformation de ses signaux, ce serait une entreprise singulièrement difficile, et qui même ne serait pas sans danger pour la sécurité de l'exploitation, que de refaire l'éducation de tout un personnel, en substituant des règles nouvelles à celles qui lui sont familières et qu'une longue habitude lui a appris à appliquer en quelque sorte machinalement.

D'ailleurs nous avons pu constater, et c'est là le point important, que chacune des solutions adoptées par les différentes compagnies pour l'organisation et pour la réglementation des signaux de bifurcation garantit la sécurité d'une manière complète, à la double condition que les mécaniciens respectent les signaux, et que les aiguilleurs exécutent fidèlement leur consigne. L'expérience prouve qu'avec des consignes simples et un personnel bien discipliné, les accidents causés par une négligence ou une erreur d'un aiguilleur de la bifurcation sont relativement rares. Les appareils d'enclanchement permettent d'éliminer complètement cette cause de danger. Nous devons maintenant entrer dans quelques détails au sujet des principales dispositions de ces appareils, de leurs propriétés essentielles et de leur mode d'application. Sur chacun de ces points, nous avons puisé de précieux renseignements dans une note manuscrite rédigée par M. Gaunin, qui, comme chef de section principal, a été chargé de l'installation des appareils Saxby et Farmer sur le réseau d'Orléans.

II. — Étude comparative des appareils d'enclanchement, de leurs propriétés mécaniques et de leur mode d'application.

Quelles que soient les dispositions et la réglementation adoptées pour les signaux d'une bifurcation, on peut toujours se rendre facilement compte des liaisons à établir entre les leviers des mâts et des aiguilles.

Les conditions à remplir pour obtenir une complète sécurité peuvent être formulées comme il suit :

1° *Tout étant disposé pour le passage d'un train, les aiguilles d'abord et le mât ensuite, l'ouverture de ce mât doit enclancher les aiguilles dans la position voulue;*

2° *Chaque aiguille, placée dans une position contraire à celle qui convient pour le passage, doit enclancher dans la position fermée le mât qu'il faut ouvrir pour donner ce passage;*

3° *Un mât ouvert doit enclancher dans la position fermée les mâts dont l'ouverture simultanée pourrait amener une collision.*

S'il s'agit d'une bifurcation simple en pleine voie, l'application de ces conditions conduit à l'établissement d'un petit nombre d'enclanchements, qu'il sera toujours facile de réaliser simplement et à peu de frais au moyen de l'appareil Vignier primitif, tel qu'il a été décrit en 1856 par M. Hérard dans le tome XI de la 3e série des *Annales des ponts et chaussées*, et tel qu'il est encore appliqué à toutes les bifurcations du réseau de l'Ouest et à un grand nombre de celles des réseaux du Nord et du Midi.

Le problème devient plus complexe s'il s'agit d'une bifurcation placée dans une gare ou aux abords d'une gare. Pour le résoudre, MM. Saxby et Farmer ont imaginé un ensemble de dispositions très bien conçues, qui peuve

prêter aux applications les plus variées, et qui sont maintenant reproduites dans toutes les installations de ce genre; nous devons en indiquer sommairement les traits principaux.

Le but de ces dispositions devant être de réunir dans un même poste d'aiguilleur et sur une même table d'enclanchement les leviers de manœuvre de tout un groupe de signaux et d'aiguilles, la première condition à remplir était de manœuvrer les aiguilles à grande distance. Ce problème a été résolu en transmettant les mouvements des leviers aux aiguilles au moyen de tiges rigides en fer creux, réunies entre elles par des leviers coudés; pour compenser l'action de la dilatation, les longues tiges sont divisées en parties égales, dont les extrémités sont reliées deux à deux par l'intermédiaire d'un balancier mobile autour d'un axe perpendiculaire à la direction des tiges. On peut ainsi, dans des conditions ordinaires, manœuvrer une aiguille avec régularité à une distance de 300 mètres, sans que la manœuvre du levier exige un trop grand effort. En améliorant les conditions d'installation, et en augmentant la stabilité des points d'appui, on peut facilement dépasser cette limite de 300 mètres. C'est ainsi qu'à la gare de Caen nous avons pu constater qu'une aiguille est manœuvrée à la distance de 400 mètres dans des conditions de régularité parfaite.

Les aiguilles manœuvrées, comme nous venons de le dire, à grande distance, sont hors de la portée de la vue, et elles échappent à la surveillance de l'aiguilleur. Il peut se faire, soit qu'à l'insu de l'aiguilleur l'aiguille n'obéisse pas à la manœuvre par suite d'une rupture des tiges de transmission, soit qu'elle reste entre-bâillée par suite d'un défaut d'ajustement ou de la présence d'une pierre formant obstacle entre la lame de l'aiguille et le rail. Il était donc nécessaire de donner à l'aiguilleur un moyen de contrôler le bon fonctionnement des aiguilles, d'assurer la position

de celles qui doivent être prises en pointe, et de les caler fermement dans cette position pendant le passage des trains. A cet effet, MM. Saxby et Farmer ont introduit l'usage d'un nouvel appareil de sûreté nommé *verrou*. Ce *verrou* est disposé dans l'axe de la voie ; il est manœuvré au moyen d'un levier placé dans le poste de l'aiguilleur, et qui lui transmet un mouvement alternatif dans une direction parallèle aux rails ; la tringle de connexion des aiguilles est percée de deux trous qui se trouvent en face du verrou lorsque l'aiguille est à fond de course dans l'une ou dans l'autre de ses positions. On ne peut donc fermer le verrou que lorsque l'aiguille est bien à fond de course, et elle se trouve alors verrouillée et solidement maintenue dans cette position.

Pour compléter ces dispositions, en faisant en sorte que l'aiguilleur ne puisse pas modifier la position d'une aiguille prise en pointe pendant le passage d'un train, MM. Saxby et Farmer ont imaginé de placer en avant de l'aiguille une pédale reliée au levier du verrou. Cette pédale, disposée à l'intérieur de la voie le long du rail, est mobile autour d'une charnière horizontale perpendiculaire au rail. Dans chacune de ses deux positions extrêmes, la pédale est au niveau du boudin des roues ; mais, lorsqu'elle est à mi-course, elle dépasse de quelques centimètres la partie supérieure du rail. On comprend que, dans ces conditions, le poids des wagons empêche de mouvoir la pédale, et par conséquent de retirer le verrou qui fixe la position de l'aiguille, tant que celle-ci n'est pas complètement dégagée. Le levier de manœuvre du verrou est d'ailleurs enclanché avec ceux des mâts de signaux correspondants, de telle manière qu'il soit impossible d'ouvrir le mât qui doit autoriser le passage d'un train sur une aiguille prise en pointe, avant que cette aiguille ne soit convenablement verrouillée. Il est également enclanché avec le levier de l'aiguille elle-même, de telle sorte que cette aiguille, lorsqu'elle est prise

en pointe, se trouve à la fois verrouillée et enclanchée, ce qui assure doublement sa position.

Le mode de verrouillage des aiguilles prises en pointe, que nous venons de décrire donne évidemment une sécurité parfaite; il a d'autre part l'inconvénient de compliquer la manœuvre et d'augmenter notablement le nombre des leviers du poste d'aiguilleur, ainsi que le nombre des enclanchements à réaliser. La Compagnie de l'Ouest s'affranchit de cette complication au moyen d'un appareil électrique, disposé de façon à mettre en action une sonnerie placée dans le poste de l'aiguilleur chaque fois que les aiguilles ne sont pas parfaitement à fond de course; l'aiguilleur a ainsi un moyen de contrôle lui permettant de constater le bon fonctionnement et la bonne position de l'aiguille. Cette compagnie admet, et l'expérience paraît confirmer, que, lorsque les aiguilles sont bien disposées, leur position est suffisamment assurée par la rigidité des tiges de manœuvre, pour qu'on n'ait pas à craindre de dérangements causés par les trépidations du train. La Compagnie du Nord emploie simultanément les contrôleurs électriques et les verrous. Il convient d'ailleurs de remarquer que l'utilité des appareils spéciaux destinés à assurer la position des aiguilles prises en pointe dépend principalement de la vitesse avec laquelle ces aiguilles doivent être franchies par les trains. Sur la plupart des lignes de chemin de fer d'Angleterre, les trains franchissent sans ralentissement les bifurcations et en général toutes les aiguilles prises en points; l'application du verrou de sûreté de MM. Saxby et Farmer permet de le faire sans danger. D'après les descriptions de l'article 37 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 et les règlements généraux des compagnies, les conditions ne sont pas les mêmes en France, du moins quant à présent, les trains devant toujours réduire leur vitesse au passage des bifurcations et des aiguilles prises en pointe. On pourra sans doute, en France comme en Angleterre, s'affranchir de

cette règle et admettre que le verrouillage des aiguilles prises en pointe permet de les franchir sans ralentissement.

Tous les leviers d'aiguilles de verrous et de signaux sont concentrés dans le poste d'aiguilleur ou « *signal box*, » où ils sont rangés en ligne droite sur un même bâti. On peut réunir ainsi sous la main d'un même aiguilleur un nombre considérable de leviers. L'un des « *signal boxes* » établis par la compagnie d'Orléans à la gare de Paris renferme 23 leviers; on en compte 33 dans un de ceux que la compagnie de Lyon vient d'installer à la Guillotière. En Angleterre, le poste central de la gare de Waterloo-Bridge à Londres ne contient pas moins de 109 leviers; celui de London-Bridge en a 180.

Il nous paraît inutile d'insister sur les dispositions de détail qui ont été adoptées par MM. Saxby et Farmer pour l'installation de ces « *signal boxes*, » et qui depuis lors servent de type à toutes les installations analogues, quel que soit d'ailleurs l'appareil d'enclanchement auquel on les applique. L'ensemble de ces dispositions est représenté par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. IV. Pour faciliter le travail de l'aiguilleur, des couleurs différentes distinguent des leviers de mâts de signaux de ceux des aiguilles et de ceux des verrous; les leviers sont numérotés, et sur chacun d'eux est portée l'indication des numéros de ceux qui doivent être manœuvrés avant lui. Les fausses manœuvres sont d'ailleurs rendues impossibles par les appareils d'enclanchement, de telle sorte qu'on a pu dire avec raison qu'un aveugle entrant dans le *signal box* de London-Bridge, et manœuvrant les leviers au hasard, arrêterait probablement la circulation des trains, mais ne pourrait jamais causer un accident. Sans nous arrêter plus longtemps à la description de ces dispositions en quelque sorte extérieures, nous devons maintenant aborder l'examen des appareils d'enclanchement eux-mêmes, de leurs propriétés mécaniques, et nous rendre compte de la manière dont on devra en faire l'application.

La consigne des postes d'aiguilleurs tels que ceux que nous venons de citer, et les combinaisons d'enclanchement qui doivent traduire cette consigne, sont nécessairement très compliquées. Mais, quelle que soit la complexité du problème, on peut toujours le résoudre avec certitude, et dresser méthodiquement la liste des combinaisons d'enclanchement à réaliser, en appliquant les trois règles que nous avons formulées plus haut ; on devra seulement, si on adopte pour les aiguilles prises en pointe le verrou de sûreté de MM. Saxby et Farmer, s'imposer en outre les 4e et 5e conditions ci-après :

4° *Toute aiguille munie d'un verrou doit être enclanchée dans l'une et dans l'autre de ses positions lorsque le verrou est fermé ;*

5° *Le mât qu'il faut ouvrir pour donner passage à un train prenant une aiguille en pointe doit être enclanché dans sa position fermée lorsque le verrou de cette aiguille est ouvert, et réciproquement.*

Les appareils d'enclanchement au moyen desquels on réalise ces combinaisons peuvent être d'ailleurs très variés ; c'est un problème de mécanique qui paraît susceptible d'un très grand nombre de solutions, et sur lequel l'imagination des inventeurs peut amplement s'exercer. Mais un examen peu approfondi permet de reconnaître que, quelle que soit la variété des dispositions au moyen desquelles on peut établir une liaison mécanique entre deux leviers, les combinaisons que l'on peut ainsi réaliser se réduisent à un très petit nombre de types. C'est ce qu'il est facile d'établir *a priori.*

Posons-nous le problème sous sa forme générale. Soient deux leviers A et B, chacun d'eux pouvant occuper deux positions, dont l'une sera dite position normale, et l'autre position renversée. Ces deux leviers, si on les suppose

indépendants l'un de l'autre, peuvent prendre l'un par rapport à l'autre quatre positions relatives, savoir :

A normal avec B normal.
A normal avec B renversé.
A renversé avec B normal.
A renversé avec B renversé.

Nous appellerons *système d'enclanchement* toute liaison mécanique établie entre les leviers A et B, et telle que, dans une ou plusieurs des quatre positions relatives que peuvent prendre ces deux leviers, l'un d'eux immobilise l'autre.

Ce système d'enclanchement pourra avoir pour effet de rendre impossibles une ou plusieurs des quatre positions relatives que pourraient prendre les deux leviers s'ils étaient indépendants; en outre, dans chacune des positions relatives qui demeureront permises, chaque levier pourra, soit immobiliser l'autre ou en d'autres termes l'enclancher, soit le laisser libre. Il suffit évidemment de faire à cet égard toutes les hypothèses possibles pour définir tous les systèmes d'enclanchement qui peuvent être établis entre les deux leviers; on peut éliminer *a priori* un certain nombre de ces hypothèses en appliquant les quatre règles ci-après, qui se justifient d'elles-mêmes et qu'il nous suffira d'énoncer :

1° *Étant donnée une position relative des deux leviers, si un de ces leviers immobilise l'autre, ce second levier ne peut pas en même temps immobiliser le premier, sans quoi le système tout entier se trouverait définitivement immobilisé;*

2° *Une position d'un levier étant donnée, il peut être immobilisé dans l'une ou l'autre des deux positions que peut prendre le second levier, mais non pas dans les deux positions, sans quoi le premier levier se trouverait complètement et définitivement immobilisé.* Exemple : Si A normal immobilise B normal, A renversé le laisse nécessairement libre,

sans quoi B se trouverait immobile dans sa position normale;

3° *Si, pour une position donnée d'un des leviers, le second levier peut passer d'une position à une autre, celui-ci pourra toujours par un mouvement inverse revenir de la seconde position à la première;* autrement dit: si A normal laisse libre B normal, il laisse également libre B renversé. Toutefois cette dernière règle n'est pas absolue; elle suppose que les liaisons mécaniques établies reposent sur les propriétés cinématiques des pièces animées d'un mouvement alternatif, et cela sans intervention de ressorts; on peut s'en affranchir au moyen d'enclanchements à ressorts ou à contrepoids; nous verrons tout à l'heure dans quel cas on est conduit à les employer;

4° Enfin, pour que, dans une position relative des deux leviers, un de ces leviers enclanche l'autre, pour que par exemple A normal immobilise B renversé, on peut faire en sorte: soit que les deux positions A normal et B normal soient incompatibles; soit que la positiou de A normal, tout en étant également compatible avec les deux positions extrêmes de B, soit incompatible avec une des positions intermédiaires que B doit nécessairement prendre pour passer de l'une à l'autre de ses deux positions extrêmes. Dans le premier cas on peut poser comme règle que, *si une position d'un levier enclanche l'autre dans une position donnée, la position inverse du second levier enclanchera nécessairement le premier dans la position inverse de celle pour laquelle la première relation a été établie.* En d'autres termes, si A normal immobilise B renversé, B normal devra nécessairement immobiliser A renversé. C'est ce que nous pourrons appeler *le principe de réciprocité.* Dans le cas contraire, s'il y a seulement incompatibilité entre les positions intermédiaires des deux leviers, la réciprocité n'existe plus; mais on peut alors formuler une nouvelle règle ainsi conçue: *Si une position donnée d'un levier immobilise l'autre*

dans une position, il l'immobilise également dans la position inverse; en d'autres termes, si A renversé immobilise B normal, il immobilisera en même temps B renversé.

En faisant application de ces diverses règles et en procédant par élimination, on trouve qu'en dernière analyse les différents systèmes d'enclanchement qui peuvent exister entre deux leviers A et B se réduisent aux huit types définis ci-après :

1er type.	A normal enclanche B normal. A renversé laisse B libre. B renversé enclanche A renversé. B normal laisse A libre.
2e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclanche B renversé. B normal enclanche A normal. B renversé laisse A libre.
3e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclanche B normal. B normal laisse A libre. B renversé enclanche A normal.
4e type.	A laisse B libre dans toutes les positions. B renversé enclanche A dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. B normal laisse A libre.
5e type.	A normal laisse B libre. A renversé enclanche B dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. B laisse A libre dans toutes les positions.
6e type.	A normal enclanche B renversé. A renversé laisse B libre. B normal enclanche A renversé. B renversé laisse A libre.
7e type.	A normal enclanche B dans l'une et dans l'autre de ses deux positions. A renversé laisse B libre. B laisse A libre dans toutes les positions.
8e type.	A laisse B libre dans toutes les positions. B normal enclanche A dans ses deux positions. B renversé laisse A libre.

Les premier, deuxième, troisième et sixième types correspondant au cas où l'enclanchement est obtenu pour l'incompatibilité de deux positions extrêmes des deux leviers ; les quatre autres correspondent au contraire au cas où l'incompatibilité existe, non plus entre deux positions extrêmes, mais entre une des positions extrêmes d'un des leviers et une position intermédiaire de l'autre. Dans la pratique, on peut toujours se borner à réaliser les cinq premiers types ; le sixième type, qui suppose l'incompatibilité des deux positions normales des deux leviers, doit être écarté. D'autre part, les quatrième, cinquième, septième et huitième types, dans lesquels une position d'un des leviers enclanche l'autre indifféremment pour les deux positions de ce second levier, n'ont généralement d'application que pour les relations des leviers des verrous d'aiguilles avec les leviers d'aiguilles ; on fera toujours en sorte que la position ouverte du verrou corresponde à la situation normale de son levier, ce qui rend sans objet les systèmes d'enclanchement des septième et huitième types. On pourrait même aller plus loin, en remarquant que le premier et le deuxième type, de même que le quatrième et le cinquième, font dans une certaine mesure double emploi, puisqu'ils ne diffèrent que par l'interversion des rôles des deux leviers A et B. Mais il est avantageux en pratique de se donner la facilité de réaliser ces cinq types sans être forcé de faire cette interversion. Cela tient à ce qu'en général les dispositions mécaniques au moyen desquelles les enclanchements de ces divers types sont établis entre deux leviers A et B ne sont pas symétriques par rapport à ces deux leviers ; pour la simplicité de l'appareil, il faut se réserver la faculté de faire jouer à chaque levier, soit le rôle du levier A, soit celui du levier B, par rapport aux autres leviers avec lesquels il a des relations d'enclanchement.

Tout procédé d'enclanchement qui permettra de réaliser

les cinq systèmes d'enclanchement que nous venons de définir devra donc être considéré comme fournissant une solution complète du problème. Dans l'appareil Vignier, l'enclanchement de deux leviers est obtenu par le mouvement alternatif de deux tiges perpendiculaires, dont chacune est solidaire du mouvement des leviers; une de ces tiges est percée de trous dans lesquels l'autre vient s'engager et faire office de verrous. Si nous supposons que la première de ces tiges corresponde au levier A, la seconde au levier B, nos cinq types théoriques d'enclanchement pourront être facilement réalisés au moyen des dispositions représentées par les diagrammes de la *fig.* 1, Pl. III.

Dans l'appareil Saxby (*), chaque levier transmet son mouvement alternatif à une palette en fonte, évidée en forme de gril, et tournant autour d'un axe horizontal perpendiculaire à celui du levier. Dans l'état normal du levier, la palette est horizontale; lorsque le levier est renversé, sa palette est déversée sous un angle de 60 degrés. Un certain nombre de palettes transmettent leurs mouvements alternatifs à des tringles qui les croisent perpendiculairement. Au droit de chaque palette qu'on veut enclancher, la tringle est armée d'une cale en fer qui peut prendre différentes formes. Si A est le levier qui commande la tringle, B celui sur la palette duquel agit la cale, on peut, en faisant varier la forme de la cale, réaliser nos cinq types théoriques d'enclanchement, ainsi qu'il résulte des diagrammes représentés à la *fig.* 2, Pl. III.

Si, comme nous l'avons supposé dans le diagramme, une même tringle commandée par un levier A porte une série de cales, de manière à établir entre le levier A une série de leviers B[1], B[2], etc., des enclanchements des différents types, toutes les cales sont solidaires de la cale A

(*) Voir les *fig.* 1 à 3, Pl. IV; la *fig.* 2, Pl. III, et la légende explicative de ces figures.

qui conduit le mouvement, et par conséquent solidaires entre elles ; d'où cette règle que *tout levier enclancheur de A enclanche tout ce qui est enclanché par A.* Cette règle s'applique d'ailleurs également aux enclanchements de l'appareil Vignier, si, comme nous l'avons représenté, la tringle solidaire du levier A est percée d'une série de trous correspondant aux verrous solidaires d'une série de leviers B et disposés de façon à réaliser les divers types d'enclanchement. On pourra toujours facilement dresser la liste des enclanchements qui se trouvent ainsi réalisés indirectement et sans l'addition d'un nouveau mécanisme.

D'après les explications que nous venons de donner, il est maintenant facile de concevoir comment on devra procéder pour dresser le projet des enclanchements à établir entre un système quelconque de signaux et d'aiguilles. Quelle que soit la complexité du problème et quel que soit le nombre de leviers entre lesquels on ait à établir des relations, la méthode à suivre sera toujours la même ; pour dresser la liste des enclanchements nécessaires entre les leviers des aiguilles des mâts et des verrous, il suffira d'appliquer successivement les cinq règles que nous avons énoncées plus haut. Avec la connaissance que nous avons maintenant des différents systèmes d'enclanchement et de leurs propriétés, il sera aisé de déterminer le type d'enclanchement qui doit servir à traduire mécaniquement chacune de ces règles.

D'après les deux premières règles, tout étant disposé pour le passage d'un train, l'ouverture du mât qui autorise passage doit enclancher les aiguilles dans la position convenable, et réciproquement la position contraire de l'aiguille doit enclancher le mât dans sa position fermée. Cette double condition sera réalisée en établissant entre les leviers du mât et celui de l'aiguille un système d'enclanchement du 2ᵉ ou du 3ᵉ type, suivant que la position vou-

lue de l'aiguille correspond à la position renversée ou à la position normale de son levier.

D'après la troisième règle, un mât ouvert doit enclancher dans la position fermée tous les mâts dont l'ouverture simultanée pourrait amener une collision; cette condition conduira à établir des systèmes d'enclanchement du 1er ou du 3e type, suivant que les mâts à enclancher dans la position fermée seront ouverts ou fermés dans leur position normale. On devra recourir aux enclanchements des types 4 et 5 pour établir les relations prescrites par notre 5e règle entre les aiguilles prises en pointe et leurs verrous. Enfin on satisfera à la 6e condition, relative à l'enclanchement des leviers de mâts par les leviers de verrous des aiguilles prises en pointe, de la même manière que pour les relations de ces mêmes leviers de mâts avec ceux des aiguilles correspondantes, c'est-à-dire au moyen des enclanchements des 2e et 3e types.

Le tableau des enclanchements nécessaires étant ainsi dressé, on devra le compléter par l'énumération de tous les enclanchements indirects qui s'en déduisent, ce qui permettra, dans la plupart des cas, de diminuer le nombre des systèmes d'enclanchements à établir directement, en en éliminant un certain nombre qui se trouveraient faire double emploi. En procédant ainsi avec méthode, on arrivera assez facilement à tracer le diagramme des enclanchements à établir.

Il ne restera plus alors qu'à déterminer les correspondances à organiser entre les différents postes d'aiguilleurs. Il peut se faire, en effet, que l'étendue de la gare nécessite l'établissement de plusieurs postes. Dans ce cas, les mouvements de trains qui s'exécutent à la fois dans le rayon d'action des deux postes ne doivent pouvoir s'effectuer qu'après entente des deux aiguilleurs. Il suffit pour cela que les disques, dont l'ouverture autorise ces mouvements, soient des disques à plusieurs transmissions, tels que les disques à

deux ou trois transmissions qui sont depuis longtemps en usage sur plusieurs réseaux, et qu'ils soient disposés de façon à ne pouvoir être ouverts par un des deux aiguilleurs qu'avec l'autorisation de l'autre. Si, par exemple, un mât ne doit être ouvert par un poste A qu'avec l'autorisation de B, on organisera entre A et B des signaux conventionnels permettant à A de demander à B l'autorisation nécessaire; cet échange de signaux se fera d'ailleurs facilement, soit simplement au moyen d'un timbre, soit par la manœuvre de mâtereaux à sonnettes, soit enfin avec des appareils électriques tels que ceux que M. Jousselin a installés sur le réseau de Lyon. Prévenu par ce signal, le poste B devra manœuvrer le levier qui met en liberté le mât du disque, et ce n'est qu'après cette manœuvre que le poste A pourra ouvrir le disque. On procédera de même en sens inverse pour fermer le disque, après que le mouvement de trains se sera effectué. On peut d'ailleurs renforcer ces prescriptions par un enclanchement tel que, lorsque le poste B, sur l'invitation du poste A, a manœuvré le levier qui met le disque en liberté, ce levier se trouve enclanché dans cette position, et ne puisse être déclanché que par le poste A. On réalise cette combinaison au moyen d'un système d'enclanchement à ressort ou à contre-poids. Une disposition de ce genre a été introduite par la compagnie du Nord dans l'appareil Vignier établi à la bifurcation de Pontoise. L'appareil Saxby et Farmer se prête également à des combinaisons analogues.

Il ne nous reste plus qu'à signaler les derniers perfectionnements nouvellement introduits par MM. Saxby et Farmer, et qui permettent d'établir entre deux leviers un enclanchement conditionnel, c'est-à-dire subordonné à la position d'un troisième levier. Si, par exemple, l'ouverture simultanée de deux disques A et B n'est dangereuse que pour une position donnée d'une aiguille C, on pourra, au moyen de cette disposition, subordonner l'enclanchement des deux

disques à cette position de l'aiguille, et autoriser ainsi des mouvements de trains simultanés qui pourront s'effectuer sans danger. Chaque disque doit donc enclancher l'autre pour une position donnée de l'aiguille C, et réciproquement l'ouverture simultanée des deux disques doit enclancher cette aiguille dans la position convenable. Les diagrammes, *fig.* 3, Pl. III, montrent comment cette double condition se trouve remplie. Le nombre des combinaisons de ce genre auquel se prête l'appareil Saxby et Farmer est pour ainsi dire illimité.

Nous connaissons maintenant les conditions mécaniques auxquelles les appareils d'enclanchement doivent satisfaire; nous avons défini les différents types de combinaisons à réaliser; nous avons vu enfin comment on en devait faire l'application aux divers cas qui peuvent se présenter. Dans ce travail, nous avons étudié pareillement les deux procédés d'enclanchement dont on fait usage dans les appareils Vignier et dans ceux de MM. Saxby et Farmer. Nous avons constaté que les premiers aussi bien que les seconds donnent une solution complète du problème. Mais, après avoir rendu ce témoignage aux appareils de M. Vignier, à qui appartient d'ailleurs l'honneur de la priorité, il serait bien injuste de méconnaître la valeur des perfectionnements introduits par MM. Saxby et Farmer. Non seulement ces inventeurs ont singulièrement élargi la question, et ont fait entrer l'application du principe des enclanchements dans une voie nouvelle. en combinant ce principe avec celui de la manœuvre des aiguilles à grande distance, de façon à réunir un grand nombre de leviers de mâts et d'aiguilles sous la main d'un seul aiguilleur, mais ils ont su réaliser ce programme au moyen d'un ensemble de combinaisons parfaitement étudiées dans tous leurs détails, créant ainsi une sorte de type dont les dispositions générales sont aujourd'hui universellement adoptées en France comme en

Angleterre pour toutes les installations du même genre, quel que soit d'ailleurs le procédé d'enclanchement dont on fasse usage.

Si nous comparons ces procédés d'enclanchement, non plus au point de vue de leurs propriétés géométriques, mais eu égard à leur valeur pratique, nous devons constater d'abord que les appareils Vignier, sous leur première forme, se prêtent parfaitement et à très peu de frais à des applications simples, telles que le cas d'une bifurcation en pleine voie, ou, dans une gare, pour l'enclanchement des aiguilles d'un changement de voie avec le disque à distance qui le couvre.

L'application qui a été faite par la compagnie de l'Ouest, aux abords de la gare de Caen, montre qu'avec quelques modifications de détail ce système peut trouver également son application dans des cas plus complexes. La table d'enclanchement du poste de Caen comprend quinze leviers, et la simplicité relative du mécanisme prouve que ce nombre de leviers pourrait sans inconvénient être notablement dépassé.

D'autre part, on doit reconnaître que, s'il s'agit de postes comportant un très grand nombre de leviers, tels qu'on tend maintenant à les établir en France aussi bien qu'en Angleterre, les nouveaux procédés d'enclanchement adoptés en dernier lieu par MM. Saxby et Farmer, et dont nous avons donné les diagrammes, se prêtent merveilleusement et avec une très grande simplicité relative aux combinaisons les plus multiples. Comme nous l'avons vu, le mécanisme ne se compose que de trois éléments : le mouvement de chaque levier se transmet à une *palette* en forme de gril; celle-ci, à son tour, peut entraîner dans son mouvement d'oscillation une *tringle d'enclanchement* placée transversalement au-dessus de la série des palettes; enfin chacune de ces tringles d'enclanchement est armée d'un certain nombre de *cales* disposées de manière à agir sur

les palettes des autres leviers. Toutes ces pièces sont placées à l'extérieur, ce qui facilite leur surveillance et leur entretien. Elles se réduisent à un très petit nombre d'organes qui sont toujours identiques, quels que soient d'ailleurs le nombre de leviers du poste et la variété des combinaisons à réaliser, ce qui est un avantage inappréciable pour les facilités d'installation, de réparation et d'entretien. On peut toujours facilement modifier et compléter à volonté les relations d'enclanchement établies entre les leviers d'un même poste, par le simple déplacement ou par l'addition de quelques cales, ou, au besoin, par l'addition d'une tringle de calage. Enfin, d'après un dernier perfectionnement imaginé par MM. Saxby et Farmer, le mouvement des palettes est rendu solidaire, non plus du mouvement du levier, mais simplement de celui d'une manette, qu'il faut presser avant de déplacer le levier, et qui conserve cette position tant que le levier n'est pas à fond de course, de telle sorte qu'avant même que la manœuvre d'un levier soit commencée tous les enclanchements que doit produire cette manœuvre sont sûrement réalisés, et qu'en sens inverse ces enclanchements persistent jusqu'à ce que le levier ait été ramené à fond de course dans sa position normale. Ce sont là des avantages incontestables qui justifient pleinement la faveur dont les appareils de MM. Saxby et Farmer jouissent en Angleterre et la préférence que les compagnies de Lyon, d'Orléans, du Nord et de l'Est lui ont successivement accordée.

Cette étude ne serait pas complète si, avant de terminer, nous ne signalions les nouveaux appareils de sûreté désignés sous le nom de *serrure Annett* que la compagnie des chemins de fer de l'Est expérimente en ce moment. Le principe de cet appareil est très simple. Pour rendre la position d'un levier solidaire de la position d'un autre levier, on adapte à chacun d'eux une serrure. Une seule clef, d'un modèle particulier, et dont il n'y a pas de

double, est ajustée aux deux serrures; elle est disposée de telle manière qu'après l'avoir employée dans l'une ou l'autre serrure on ne puisse l'en retirer sans enclancher le levier correspondant à cette serrure dans la position requise pour assurer la sécurité. De cette manière, on peut, par exemple, soit rendre matériellement impossible l'ouverture simultanée de plusieurs disques, soit ne permettre l'ouverture d'un disque que pour une position donnée d'une aiguille. Un appareil remplissant ces conditions peut évidemment être très utilement appliqué dans un grand nombre de cas, et permettre d'obtenir, par des moyens très simples et à très peu de frais, de grandes garanties de sécurité.

Résumé et conclusions. — Pour remplir le programme qui était tracé à la sous-commission par la note de l'administration centrale dont nous avons rapporté les termes, nous avons dû, dans la première partie de ce rapport, analyser les règlements en vigueur sur les différents réseaux pour assurer la sécurité de la circulation des trains au passage des bifurcations. En comparant ces règlements, nous avons montré de quels principes différents ils procèdent, suivant l'usage qu'on fait des appareils d'enclanchement et suivant l'importance du rôle qu'on leur assigne; nous avons signalé les différences qui existent entre les règlements des diverses compagnies, même lorsqu'ils sont basés sur les mêmes principes, selon les différentes règles adoptées pour l'organisation des signaux et pour leur interprétation. Passant ensuite à l'examen des appareils d'enclanchement, nous avons constaté que toutes les compagnies en étendent aujourd'hui l'application, en faisant usage, soit de l'ancien appareil Vignier plus ou moins modifié, soit des appareils de MM. Saxby et Farmer. Nous avons vu quelle importance ont prise ces applications par suite des progrès réalisés et des perfectionnements ingénieux imaginés par MM. Saxby et Farmer, perfectionnements qui permettent, par la ma-

nœuvre des aiguilles à grande distance, de concentrer dans un même poste d'aiguilleur un nombre considérable de leviers. Abordant ensuite l'examen des divers procédés d'enclanchement, nous avons dû déterminer à quelles conditions mécaniques ces appareils doivent satisfaire, quelles combinaisons ils doivent permettre de réaliser pour donner une solution complète du problème, comment enfin on doit procéder pour appliquer ces diverses combinaisons dans tous les cas qui peuvent se présenter, depuis celui d'une bifurcation simple jusqu'aux cas les plus compliqués. Nous avons constaté que ces conditions sont complètement remplies dans les appareils Vignier comme dans les appareils Saxby et Farmer, tout en rendant d'ailleurs pleine justice aux avantages que possèdent les procédés d'enclanchement imaginés par MM. Saxby et Farmer, et qui semblent devoir en recommander l'emploi dans les postes comprenant un grand nombre de leviers.

Cette étude nous fournira les éléments des réponses à faire aux deux questions posées par l'administration supérieure. Nous devons en rappeler les termes :

1° Convient-il de signaler aux compagnies l'opportunité d'uniformiser des systèmes de signaux destinés à protéger les bifurcations?

2° Dans le cas de l'affirmative, quel est le système qu'il y a lieu de recommander aux compagnies comme garantissant le mieux la sécurité publique?

S'il ne s'agissait ici que d'émettre un vœu théorique, notre réponse à la première question ne serait pas douteuse. L'uniformité des systèmes de signaux de bifurcation est évidemment en théorie une chose désirable. Mais nous avons vu qu'en fait, non seulement la réalisation de cette uniformité imposerait aux compagnies de grands sacrifices, mais qu'en outre la transition d'un système à un autre ne pourrait se faire sans de grandes difficultés

pour l'éducation du personnel, et sans introduire dans le service des perturbations qui pourraient être dangereuses pour la sécurité. D'un autre côté, l'établissement d'un système uniforme, en paralysant la liberté d'action des compagnies, fermerait la porte à tout nouveau progrès dans l'avenir. Nous avons constaté d'ailleurs que, par des moyens différents, les règlements des signaux de bifurcation en vigueur sur les différents réseaux assurent d'une manière complète la sécurité.

En ce qui concerne les appareils d'enclanchement, nous avons vu que certaines compagnies les appliquent d'une manière générale à toutes leurs bifurcations; les autres, tout en établissant leurs règlements de signaux de manière à assurer la sécurité indépendamment des appareils d'enclanchement, en étendent progressivement l'application sur tous les points de leur réseau où, en raison de la complication du service et de l'activité de la circulation des trains, il est utile d'obtenir des garanties supplémentaires de sécurité. Nous avons également reconnu que les divers systèmes d'enclanchement en usage satisfont d'une manière complète aux diverses conditions du problème, et que leur application peut permettre, sans que la sécurité soit compromise, de faciliter et d'accélérer le mouvement des trains au passage des bifurcations au double point de vue de l'autorisation du passage simultané de plusieurs trains et de la possibilité de faire franchir les aiguilles prises en pointe sans ralentissement.

Sous le bénéfice des observations qui précèdent, nous estimons qu'il y a lieu simplement de constater les progrès réalisés, en encourageant les compagnies à persévérer dans la voie où d'elles-mêmes elles sont toutes entrées successivement.

Avis du Comité :

Après avoir entendu la lecture du rapport de M. Heurteau et en avoir délibéré, le Comité de l'exploitation technique

des chemins de fer, dans sa séance du 9 mars 1880, a émis l'avis :

1° Qu'il n'était possible, en l'état, de répondre que par la négative à la première question posée par l'administration supérieure ;

2° Qu'on ajoutera un élément très important de sécurité aux bifurcations en y adoptant l'emploi des appareils d'enclanchement ;

3° Que, sans désigner spécialement, en ce moment, aucun de ces appareils au choix des compagnies, et en constatant que plusieurs d'entre elles s'empressent déjà d'en étendre l'emploi sur leurs réseaux, il y a lieu d'en recommander instamment l'application à toutes les bifurcations, en attendant qu'on en fasse l'objet d'une prescription formelle.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES III ET IV.

Planche III.

Fig. 1 et 2. Diagrammes des cinq types d'enclanchement.
(*Fig.* 1. Appareil Vignier.)
(*Fig.* 2. Appareil Saxby et Farmer.)

1er type.
- A normal enclanche B_1 normal.
- B_1 renversé enclanche A renversé.
- A renversé laisse B_1 libre.
- B_1 normal laisse A libre.

2e type.
- A renversé enclanche B_2 renversé.
- B_2 normal enclanche A normal.
- A normal laisse B_2 libre.
- B_2 renversé laisse A libre.

3e type.
- A renversé enclanche B_3 normal.
- B_3 renversé enclanche A normal.
- A normal laisse B_3 libre.
- B_3 normal laisse A libre.

4e type.
- B_4 renversé enclanche A normal et A renversé.
- B_4 normal laisse A libre.
- A laisse B_4 libre.

5e type.
- A renversé enchanche B_5 renversé et B_5 normal.
- A normal laisse B_5 libre.
- B_5 laisse A libre.

Fig. 3. Diagramme d'enclanchement conditionnel.

A renversé enclanche B normal, seulement si C est normal.

B renversé enclanche A normal, seulement si C est normal.

A et B renversés à la fois enclanchent C dans sa position renversée ; C ne peut redevenir libre que si A ou B sont remis dans leur position normale.

Fig. 4. Diagramme des dispositions adoptées pour protéger le passage des trains sur la bifurcation de Viroflay (rive droite).

L'aiguille n° 1 est *normalement* disposée dans la direction de la voie descendante de Versailles (rive droite).

L'aiguille n° 1 est *normalement* disposée dans la direction de la voie montante de Versailles (rive droite).

Le signal n° 6 est *normalement* tourné à l'arrêt.

Planche IV.

Fig. 1. Appareil Saxby et Farmer. — Perspective d'un poste comprenant 20 leviers.

Fig. 2. Appareil Saxby et Farmer. — Levier avec ses différentes pièces démontées pour en faire voir le mécanisme. (Le tracé ponctué indique le levier renversé.)

A levier moteur de disque ou d'aiguille, oscillant en O.

B manette mobile autour de l'axe *m*.

C targette mise en mouvement par la manette B et munie à sa partie inférieure d'un ressort à boudin *b*.

D coussinet guidant la targette et muni de deux saillies *a*, *a*, servant à guider le mouvement de la bascule E.

E bascule en forme de coulisse, oscillant en *c*, et dans laquelle peut glisser un curseur *d* fixé au talon de la targette. La bascule porte une saillie *e* pouvant se loger entre les deux saillies *a*, *a* du coussinet D qui lui servent de guides.

G segment dont le centre est en O, formant guide du levier. Le segment est muni de deux encoches *g*, *g*, dont l'écartement correspond à la course du levier, et dans lesquelles se loge le talon de la targette quand le levier est à fin de course. Le segment est fixé au bâti.

H Bielle articulée à l'extrémité *i* de la bascule, mue par le mouvement d'oscillation de la bascule et faisant mouvoir la palette K.

K palette évidée, en forme de gril, pouvant entraîner dans son mouvement d'oscillation une tringle d'enclanchements. La palette est munie de deux tourillons logés dans les parois du bâti.

M tringle d'enclanchements conditionnels.

Fig. 3. Levier prêt à fonctionner.

(Mêmes lettres que pour la *fig.* 2.)

La tringle d'enclanchement est munie de cales de différentes formes

disposées de manière à permettre ou empêcher le mouvement des palettes des autres leviers. Chaque tringle est commandée par une palette et, par conséquent, par un levier, mais toute palette ne commande pas une tringle. (La *fig.* 2, Pl. III, montre la disposition au moyen de laquelle une palette commande une tringle d'enclanchement, la palette étant munie d'une came prise entre deux mentonnets xés sur la tringle.)

NOTICE SUR LES SOURCES MINÉRALES
DES DÉPARTEMENTS
DE SEINE-ET-OISE, DE SEINE-ET-MARNE ET DU LOIRET

Par M. Ed. SAUVAGE, ingénieur des mines (*).

Les terrains tertiaires et quaternaires des environs de Paris sont riches en sources minérales, dont l'étude est intéressante. Nous nous occuperons ici de celles qui sont comprises dans le sous-arrondissement minéralogique de Versailles (départements de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne, du Loiret et d'Eure-et-Loir, ce dernier ne renfermant aucune de ces sources). En première ligne est le groupe très-important des sources sulfureuses d'Enghien. A côté des eaux d'Enghien, il convient de placer une série d'eaux sulfureuses plus ou moins riches, qui existent en divers points des départements de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne, exploitées ou non, comme à Saint-Gratien, à Thieux, et à Livry-Sévigné. Il existe des eaux ferrugineuses à Provins, à Segrais (Loiret) et en diverses autres localités. Enfin les eaux de Forges (Seine-et-Oise), quoique d'une pureté à peu près absolue, sont classées administrativement parmi les eaux minérales.

J'examinerai successivement ces divers groupes de sources.

Eaux d'Enghien.

Les eaux sulfureuses d'Enghien constituent une nappe

(*) Cette notice est extraite d'un travail demandé par l'Administration des travaux publics. J'ai mis à contribution, pour la rédiger, les archives du bureau des mines du sous-arrondissement minéralogique de Versailles, et fait des emprunts importants à des rapports de MM. de Hennezel, Duchanoy et Michel Lévy.

souterraine qui vient affleurer le long du bord occidental du lac.

Le niveau statique de cette nappe paraît voisin de la cote 39m,40 au-dessus du niveau de la mer. Elle se relève vers le nord, suivant en cela le relief du terrain.

Les eaux sulfureuses paraissent en général au contact du calcaire lacustre de Saint-Ouen, trouvé en place dans la plupart des sondages, et d'une couche, d'épaisseur variable, de marnes et de sables remaniés.

Ces terrains remaniés paraissent provenir de la démolition, par les eaux, des coteaux voisins, où affleurent les masses de gypse, les marnes vertes, les sables de Fontainebleau, et les argiles à meulière supérieures, surmontées d'une couche de limon des plateaux.

Il est à remarquer que le lac d'Enghien constitue un point particulièrement bas géologiquement dans le bassin parisien : la cote d'altitude du calcaire de Saint-Ouen y est notablement inférieure à ce qu'elle est partout ailleurs dans les environs. Le lac occupe ainsi le fond d'une sorte d'entonnoir bien marqué : c'est ce qui explique la présence de tous les terrains remaniés dont je viens de parler. Que cette circonstance géologique ait affaire ou non avec la présence des sources minérales, il m'a paru intéressant de la signaler.

Voici la théorie la plus généralement adoptée de la formation des eaux sulfureuses du bassin parisien :

Les marnes quaternaires d'Enghien contiennent beaucoup de sulfate de chaux, et des amas de matières organiques d'origine végétale, irrégulièrement disséminés. L'action réductrice de ces matières organiques sur le sulfate de chaux, et la décomposition partielle du sulfure de calcium ainsi produit, expliquent la formation de la nappe d'eau sulfureuse.

On peut être étonné de l'abondance des eaux minérales ainsi formées : on s'en rend compte en étudiant les autres

nappes aquifères de la contrée ; les sables et grès de Beauchamp, sur lesquels repose la mince couche de calcaire lacustre de Saint-Ouen signalée à Enghien, laissent passer une nappe ascendante douce, dont le niveau statique est, près de l'établissement, de 38^{m},76 ; vers l'extrémité du lac, au nord, ce niveau se relève à 41 mètres, et les eaux deviennent jaillissantes. De là, sans doute, les infiltrations superficielles assez abondantes, et la formation du lac même d'Enghien. La nappe sulfureuse s'alimente par l'infiltration de ces eaux à travers les terrains quaternaires.

Nous allons passer en revue (*) les diverses sources connues à Enghien, en suivant l'ordre chronologique de leur découverte.

La première en date est la source *Cotte*, actuellement source *du Roy*, découverte en 1776.

Fourcroy en découvre une seconde en 1785 (actuellement source *Deyeux*).

Puis viennent les sources *Péligot* (1822) et *Bouland* (1835).

Dès 1822, un établissement a été créé ; les quatre sources ci-dessus, très-voisines l'une de l'autre, ont été captées à l'affleurement du calcaire de Saint-Ouen.

Pour faire le captage, on a simplement creusé des grottes artificielles et établi de petits puisards maçonnés, plus bas que le point d'émergence des sources, avec déversoir écoulant le trop plein vers un réservoir commun.

En 1841, on découvre la source *de la Pêcherie* et deux suintements d'origine mal définie auxquels on donne le nom de sources *Fourcroy* et *Vauquelin*.

Un vaste réservoir dit de la Pêcherie est creusé, et les trop pleins de toutes les sources y sont dirigés.

(*) On trouve des renseignements intéressants sur l'historique des sources d'Enghien dans l'ouvrage publié, en 1853, par MM. les directeurs de Puisaye et Ch. Lecomte (*Des eaux d'Enghien au point de vue chimique et médical*. Paris, 1853. G. Baillère).

Ces diverses sources, formant deux groupes distincts, sont situées à l'extrémité sud du lac.

Un rapport de M. l'ingénieur des mines de Hennezel, fait en 1856, constate qu'elles assurent à l'établissement de 60.000 à 80.000 litres d'eau sulfureuse par 24 heures.

De 1856 à 1860, des travaux assez importants sont exécutés à Enghien : un drainage est établi dans le parc de l'établissement, sous la direction de M. l'ingénieur en chef des mines François ; les eaux ainsi drainées sont réunies au produit des trois sources de la Pêcherie et dirigées dans un aqueduc spécial. Le trop plein des quatre sources du premier groupe (sources du Roy, Deyeux, Péligot et Bouland, qui servent spécialement à la boisson) est élevé au moyen de pompes foulantes dans un réservoir qui doit servir aux bains ; le produit de l'aqueduc est monté séparément dans un réservoir plus élevé et destiné aux douches. La cause de cette séparation est dans la faible sulfuration des produits de l'aqueduc.

Dans le cours de l'hiver 1861-1862, la mise à sec du lac fait découvrir des griffons sulfureux abondants, qui jaillissent le long de la berge occidentale. Le plus important est capté par M. François, au moyen d'une cuve en bois enfoncée de $2^m,75$ dans la vase, et faisant saillie de $0^m,40$. Cette cuve porte un tube vertical en fer, de $3^m,16$ de longueur, qui dépasse le niveau de l'eau du lac. Le niveau statique de la nouvelle source se maintient à $1^m,05$ au-dessus du fond du lac ; une conduite en plomb en amène l'eau à la grotte de la Pêcherie, où un robinet permet de la jauger. De là, cette eau est dirigée dans le réservoir de la Pêcherie. Le captage de cette nouvelle source, appelée *source du Lac*, n'a nullement influencé le débit ni la sulfuration des anciennes sources et notamment de celle de la Pêcherie, qui en est la plus voisine.

Vers la fin de l'année 1862, de nombreux sondages sont effectués le long de la berge orientale du lac. Ils permettent

de préciser les conditions géologiques du gisement d'eau sulfureuse et amènent la découverte de points où la nappe, très abondante et très-sulfureuse, peut être utilement exploitée. Ce ne sont plus, à proprement parler, des sources, mais bien des puits que l'on épuisera au moyen de siphons ou de pompes. Ces puits sont au nombre de deux, savoir :

1° *Sondage des Roses ou de Puisaye.* — Le sondage a rencontré l'eau sulfureuse à 5m,80 de profondeur dans une couche quaternaire sableuse, au contact du calcaire de Saint-Ouen; son niveau statique s'établit à environ 2m,50 au-dessous du sol; elle se désulfure rapidement quand on ne l'épuise pas. Pour la capter, on a élargi le trou de sonde à main d'homme, après l'avoir bouché avec de l'argile, jusqu'à une profondeur de 3m,50. Le puits ainsi obtenu avait 2 mètres de diamètre sur une profondeur de 0m,70; il était ensuite plus étroit. Dans la partie rétrécie, on a descendu une cuve de bois légèrement conique, large de 0m,50 en bas et de 0m,70 en haut, et haute de 2m,50. Entre cette cuve et les parois du puits, on a coulé du béton hydraulique au ciment de Portland. Puis on a enfoncé jusqu'au niveau de l'eau sulfureuse un tube en fer de 0m,48 de diamètre, d'une longueur de 3m,23, qui pénètre dans la cuve. L'une des branches d'un siphon plonge dans ce tube; l'autre branche va rejoindre le réservoir de l'établissement, qui est suffisamment en contre-bas. Le siphon s'amorce au moyen d'une conduite branchée sur un des réservoirs élevés.

2° *Sondage du nord ou Lévy.* — L'eau sulfureuse a été trouvée à 10 mètres de profondeur, dans une couche quaternaire marneuse; son niveau statique est en contre-bas du sol. Le captage, exécuté au printemps de 1863, est tout à fait analogue au précédent; seulement, la cuve en bois a été remplacée par une cuve de béton Coignet de 5m,88 de hauteur et de 0m,57 de diamètre intérieur. Cette cuve repose sur une couche de ciment de Portland, qui a

été ultérieurement traversée par un double tube en fer, le premier tronçon de 0m,33 de diamètre, le second de 0m,27, sur une longueur de 3m,40. L'intervalle entre les deux tuyaux a été hermétiquement jointoyé avec du ciment à prise rapide. La cuve en béton est au fond d'un puits ordinaire de 1m,74 de profondeur sur 1m,20 de diamètre. Un siphon, installé en juillet 1863, a d'abord été branché sur celui des Roses; en décembre 1863, on l'a continué jusqu'au réservoir de l'établissement,

En 1865, l'aqueduc, qui recevait les eaux de drainage du parc, est supprimé définitivement; à la même époque, la source du Lac est amenée au réservoir de l'établissement, qui reçoit ainsi toutes les sources, sauf celle de la Pêcherie, dont le trop-plein se perd.

En 1871, le réservoir de la Pêcherie est comblé. En 1872, des pompes aspirantes et foulantes, établies à 0m,10 au-dessus de la partie supérieure du réservoir de l'établissement, remplacent les anciennes pompes foulantes. Ce changement est en partie motivé par un grave accident survenu en 1869 : plusieurs personnes avaient péri asphyxiées à la suite de la descente d'un ouvrier dans le réservoir rempli d'hydrogène sulfuré. Néanmoins, l'aspiration par des pompes de l'eau sulfureuse est critiquable, car elle doit amener le dégagement d'une partie des gaz qu'elle contient. Il est vrai que, dans l'espèce, cette aspiration est très peu considérable.

Le réservoir inférieur de l'établissement cube actuellement 46 mètres cubes; les pompes élèvent l'eau dans quatre autres réservoirs étagés ayant ensemble une capacité de 34 mètres cubes. L'étage le plus élevé sert à rendre constant le niveau de l'eau dans le réservoir immédiatement inférieur, qui fournit l'eau des douches. Les deux autres fournissent l'eau des bains.

En 1862 et 1863, trois nouveaux puits ont été creusés sur la berge orientale du lac, et un nouvel établissement a

été installé sur ces puits par M. Coquil (c'est actuellement une dépendance de l'établissement principal). L'un des trois puits n'est pas utilisé, un autre donne de l'eau pour la boisson; le troisième, qui est le plus abondant du pays, est épuisé directement au moyen de pompes à vapeur, et fournit l'eau des bains.

Ces puits ont une profondeur de 3 mètres en contre-bas du sol de la cave de l'établissement, qui est elle-même à une profondeur de 2^{m},15 au-dessous du sol naturel. L'eau sulfureuse se tient à 1^{m},50 au-dessous de l'orifice des puits.

Vers la fin de l'année 1865, un puits creusé dans la propriété *du Bousquet* a mis au jour une nouvelle source sulfureuse qui a été captée au moyen d'un cuvelage maçonné de 5^{m},70 de profondeur sur 1^{m},88 de diamètre.

Enfin nous citerons, pour mémoire, les travaux de recherche de MM. Houbart, en 1864-1865. et Sénécal, en 1870-1871, à Saint-Gratien (voir plus loin).

Des travaux de captage intéressants ont été récemment exécutés à la source du Lac. Le débit de cette source avait diminué d'une manière continue depuis l'année 1865. Il était, en effet :

De	54.300	litres par 24 heures	en 1862
	49.100	—	en 1863
	57.500	—	en 1865
	35.000	—	en 1870
	28.200	—	en 1872
	29.000	—	en 1873
Enfin environ	14.000	—	en 1874 et 1875

Le titre sulfhydrométrique avait en même temps changé, bien que d'une manière moins sensible : de 44 à 46 degrés en moyenne en 1862 et 1863, il était monté à 54 et 55 degrés en 1870, ce qui prouve que la diminution du débit tenait en partie à ce qu'il se mélangeait moins d'eau douce à l'eau sulfureuse.

Les travaux ont consisté dans le remplacement de la cuve ancienne. La nouvelle cuve est représentée en coupe, *fig.* 1, Pl. V; elle a $1^m,40$ de diamètre à la base, et a été enfoncée dans le sol vaseux du lac au point où apparaissait l'eau sulfureuse. Le lac avait été préalablement mis à sec. La cuve est percée à sa partie inférieure d'une série de trous. Elle est environnée, sur une largeur de 1 mètre, d'un *filtre* destiné à recueillir les divers griffons sulfureux. Ce filtre se compose de tuyaux de drainage disposés de manière à converger vers le centre de la cuve, et séparés par des lits de gros silex. Il y a quatre lits superposés de tuyaux. Le lit inférieur de silex repose sur des planches. Afin d'isoler complètement ce filtre des eaux douces du lac, on l'a recouvert d'une couche de mousse de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur, portant des feuilles de plomb (la mousse protège le plomb, qui se serait percé au contact des silex); ces feuilles de plomb supportent une couche de terre glaise qui déborde tout autour de 1 mètre. L'épaisseur de la terre glaise est de $1^m,30$ et plus.

La cuve est fermée à sa partie supérieure, et elle est enfoncée complètement. Elle porte un tuyau vertical, de $0^m,14$ de diamètre, qui s'ouvre librement au-dessus du niveau des eaux du lac. Un siphon amène l'eau sulfureuse au réservoir des bains. Afin d'éviter toute introduction d'eau douce dans la cuve ou toute déperdition d'eau sulfureuse, on règle le débit de ce siphon de telle sorte que le niveau de l'eau dans le tube vertical qui surmonte la cuve soit le même que celui de l'eau du lac.

Les travaux que je viens de décrire sommairement ont relevé le débit de la source du Lac, et en même temps augmenté beaucoup le titre sulfhydrométrique de l'eau, qui atteint 62 et 64 degrés, avec un débit de 20.000 à 30.000 litres par 24 heures. Les débits anciens, plus considérables, tenaient au mélange, avec l'eau sulfureuse, d'une certaine quantité d'eau douce. Aucune modification

importante ne s'est produite dans le régime de la source du Lac depuis les travaux (c'est-à-dire pendant les saisons de 1876 et de 1877).

Pendant qu'on captait à nouveau la source du Lac, on nettoyait les siphons des sources des Roses et du Nord, dont le débit avait beaucoup diminué.

Nous donnerons le tableau des diverses sources d'Enghien (au nombre de 14), avec l'indication des décisions administratives dont elles ont été l'objet :

Les sources	du Roi.	Déclarées d'intérêt public par décret du 18 juillet 1865.
	Deyeux.	
	Bouland.	
	Péligot.	
	de la Pêcherie.	
	Fourcroy.	
	Vauquelin	
	du Lac.	

La source du Nord, autorisée par arrêté ministériel du 3 janvier 1865.

La source des Roses, autorisée par arrêté ministériel du 31 mars 1866.

La source Coquil n° 2, autorisée par arrêté ministériel du 23 juin 1867.

Les sources Coquil n°s 1 et 3 (du Nord et de l'Ouest), autorisées par arrêté ministériel du 31 mars 1866.

La source du Bousquet, autorisée par arrêté ministériel du 31 mars 1866.

Une demande de périmètre de protection a été repoussée à plusieurs reprises.

Les sources Deyeux, du Roi et de la Pêcherie alimentent des buvettes. L'eau de la source des Roses (ou du Puisaye) est expédiée en bouteilles. L'eau de la source du Lac est employée pulvérisée dans les salles d'inhalation; on y ajoute au besoin de l'eau de la source des Roses. Les sources Coquil alimentent le nouvel établissement (bains et douches). La source Bouland n'est pas employée, parce

qu'elle donne une eau trop pauvre. Enfin le trop plein des sources du Lac et des Roses, et toute l'eau donnée par celle du Nord, se rendent dans un réservoir commun, et c'est avec ce mélange que l'on donne les bains et les douches.

Le débit de ces sources (qui varie, d'ailleurs, selon les saisons) a été mesuré à diverses reprises; en particulier, des observations très détaillées en ont été faites en 1860, 1862, 1863 et 1865 par M. le garde-mines Thouvenin. Le tableau résumé qui suit est composé avec les chiffres donnés à diverses époques :

NOMS des sources jaugées.		DÉBITS MOYENS EN LITRES PAR 24 HEURES.							
		1860	1862	1863	1865	1870	1872	1873	1877
Grand établissement :									
Du Roi. . .	à leur point d'émergence.	16.951	15.023	11.115	9.600	»	11.000	20.000	20.500
Deyeux. . .	à leur point d'émergence.	18.349	10.481	7.483	7.302	»	7.200	6.600	11.000
Bouland . .	à leur point d'émergence.	6.534	3.913	2.678	6.732	»	»	9.600	11.000
Peligot. . .	à leur point d'émergence.	17.302	12.337	9.691	10.836	»	»	»	»
De la Pêcherie.	à la grotte de la Pêcherie.	3.456	3.964	3.663	3.033	2.700	2.600	»	3.300
Du Lac. . .	à la grotte de la Pêcherie.	inconnue	54.347	49.139	57.456	35.000	28.200	29.000	20.000
Des Roses.	au réservoir de l'établissement.	id.	inconnue	134.400	134.400	»	»	»	27,000
Du Nord. .	au réservoir de l'établissement.	id.	id.	97.920	71.148	»	»	»	»
Totaux.		58.112	100.850	316.089	300.507	»	»	»	»
Nouvel établissement :									
N° 1	Cave de l'établissement.	inconnue	inconnue	177.456	»	»	»	»	»
N° 2	Cave de l'établissement.	id.	53.592	64.800	»	»	»	»	»
N° 3	Cave de l'établissement.	id.	inconnue	75.560	»	»	»	»	»
Totaux.		»	53.592	217.816	»	»	»	»	»
Du Bousquet.		inconnue	inconnue	inconnue	71.090	»	»	»	»

La température des eaux d'Enghien varie de 12 à 15 degrés. Elle paraît être assez indépendante de la température de l'atmosphère.

Je citerai, pour terminer, quelques analyses des eaux d'Enghien.

Dans l'eau de la source Coquil, n° 1, M. le Dr Ossian Henri a trouvé :

Pour 1 litre de liquide :

	grammes.
Acide carbonique libre	0,120
Hydrogène sulfuré	0,021
Azote	douteux
Sulfure de calcium	0,074
Bicarbonate de chaux	0,350
Bicarbonate de magnésie	0,070
Sulfate de chaux	0,284
Sulfate de magnésie	0,130
Chlorure de sodium	0,110
Chlorure de calcium	0,290
Silice	0,061
Matières organiques	traces
Potasse	douteux

M. le Dr Réveil donne, dans les *Annales de la Société d'hydrologie médicale de Paris*, t. XI, 1865, les analyses suivantes :

POUR UN LITRE.	SOURCE du Lac.	SOURCE des Roses.	SOURCE du Nord.
Matières organiques azotées	0,1530	0,1052	0,1588
Silice	0.0520	0,0483	0,0613
Chaux	0,2823	0,2951	0,2662
Magnésie	0,0352	0,0364	0,0344
Sulfate de baryte	0,0003	0,0002	0,0001
Alumine	0,0060	0,0043	0,0071
Fer	traces	traces	traces
Manganèse	»	»	»
Arsenic	»	»	»
Iode	»	»	»
Potasse	0,0121	0,0072	0,0063
Soude	0,0053	0,0021	0,0019
Lithine	traces	traces	traces
Acide sulfurique	0,2169	0,2521	0,1557
Acide carbonique combiné	0,1329	0,1200	0,1514
CO^2 libre des bicarbonates	0,1463	0,1387	0,1432
Acide borique	traces	traces	traces
Acide chlorhydrique	»	»	»
Acide phosphorique	»	»	»
Acide sulphydrique	0,059918	0,04863	0,046930
Azote	traces	traces	traces

Eaux de Livry-Sévigné.

On conçoit aisément que les circonstances qui ont donné naissance aux eaux d'Enghien doivent se retrouver en plusieurs points du bassin de Paris. J'en cite quelques exemples; il en existe probablement d'autres peu connus.

Les sources sulfureuses de Livry-Sévigné sont situées entre un petit étang circulaire, dit de l'Abbaye de Livry, et la route nationale n° 3. Le terrain est en ce point composé de masses remaniées de marnes et de sables de Fontainebleau, qui existent en place dans le coteau voisin, ainsi que la formation gypseuse (le gypse est exploité à peu de distance des sources). Ces masses remaniées reposent sur le calcaire de Saint-Ouen. Les sources sont donc dans des conditions géologiques analogues à celles d'Enghien, sauf cette différence qu'il y a dans le voisinage du sol abondance de sables très ferrugineux.

Les travaux de captage des eaux sont peu importants : ils consistent simplement en fosses de 1m,40 à 1m,80 de profondeur, dans lesquelles s'ouvrent des puisards à petit diamètre. Il existe quatre sources :

La source n° 1 (Notre-Dame de Livry) est ferrugineuse; elle est alimentée par les eaux qui ont traversé les sables ferrugineux dont je viens de parler. Le débit est de 3.000 litres par 24 heures.

La source n° 2 (Sainte-Marie) est sulfureuse et ferrugineuse; aussi est-elle chargée de flocons noirs de sulfure de fer. Le débit est de 2.000 litres par 24 heures, et le titre sulfhydrométrique est de 6° 1/4.

La source n° 3 (Sévigné) est sulfureuse. Le débit est de 9.000 litres par 24 heures, et le titre de 18° 1/2.

La source n° 4 (Amiral Jacob) est sulfureuse. Le débit est de 3.500 litres par 24 heures, et le titre de 19° 1/2.

Les eaux de toutes ces sources sont à la température des eaux des sources ordinaires voisines.

Les débits et les titres ont été mesurés le 17 septembre 1874.

Eaux de Thieux.

Les eaux de Thieux sont sulfureuses, froides et se rapprochent de celles d'Enghien. Elles ont été découvertes dans un sondage fait pour la construction du chemin de fer de Soissons, à 5m,50 de profondeur. Le trou ainsi percé ayant été rebouché, on a retrouvé l'eau en forant d'autres puits dans le voisinage.

Ces eaux sourdent dans la vallée de la Biberonne, ouverte dans les sables moyens. Sur les flancs des coteaux, qui bordent cette vallée, affleurent les couches du travertin avec gypse en amas. Dans la vallée, les sables ont été recouverts par des dépôts diluviens de formation récente. Par les sondages on a constaté qu'il existe d'abord une épaisseur de 2m,50 à 3 mètres d'argile sableuse dont la partie inférieure est très-compacte, et ne peut laisser passer les eaux superficielles. Au-dessous, il y a une couche de 2m,50 à 3 mètres de dépôts sablonneux mélangés de détritus de végétaux, en partie décomposés. Vient ensuite une masse de sable de 0m,80 environ d'épaisseur. Ces sables se trouvent agrégés par des dépôts sulfureux qui ont formé des sortes de pétrifications. Au-dessous, on trouve une couche de glaise, et enfin, sous cette argile, les sables moyens.

Des recherches exécutées sur les terrains de cette vallée, ont démontré qu'en divers points situés près de Villeneuve-Dammartin, les couches qui forment le fond de la vallée, et en particulier celles formées de détritus végétaux, venaient affleurer la surface du sol.

Dans ces conditions géologiques, les sulfures et l'hydrogène sulfuré existant dans les eaux proviennent sans doute, comme à Enghien, de l'action des matières organiques sur le sulfate de chaux dissous. L'eau est contenue entre deux couches imperméables.

Pour capter l'eau, M. Chabrerie a fait percer un puits jusqu'aux sables moyens : dans le fond de ce puits, on a coulé une couche de $0^m,60$ de béton, sur laquelle on a construit une petite tour de maçonnerie, recouverte d'une voûte en plein cintre, (la clef de cette voûte est mobile, afin qu'on puisse en visiter l'intérieur). Cette tour reçoit les eaux de la couche sablonneuse au moyen de quatre conduites en bois, de $0^m,25$ de côté et de 8 mètres de longueur. Ces conduites sont percées de trous à partir de 2 mètres de la tour. Un tuyau vertical sert à pomper l'eau ainsi recueillie. Le puits a été ensuite rempli de glaise.

Le degré de sulfuration de ces eaux, indiqué par le rapport de l'Académie de médecine (10°) est notable, mais bien inférieur à celui des eaux d'Enghien. Ce degré doit, d'ailleurs, varier selon l'époque de l'année, et la quantité d'eau tombée dans chaque saison.

Les eaux sont composées comme il suit, d'après le Dr O. Henry :

Par litre :

HS libre	0,004 (cm^3. 2,62)
CO^2	0,140
Sulfure de calcium	0,020
Sulfure de magnésium	traces sensibles.
CaO $(CO^2)^2$	0,182
CaO $(CO^2)^2$	0,071
CaO, SO^3	0,251
MgO, SO^3 / NaO, SO^3	0,300
MgCl et NaCl	0,024
Sel ammoniacal	indiqué.
Silice alunée	0,052
Fe^2O^3	0,001
Matières organiques	apparentes.
	1,045

Le débit est, d'après M. Chabrerie, de 20 litres par minute. La température de l'eau est de 14°.

J'ajouterai enfin, qu'après avoir été exploitée assez sérieusement (pour l'expédition de l'eau en bouteille), la source de Thieux a cessé de l'être depuis 1871. Cependant, elle est en bon état, et quelques habitants des environs en boivent les eaux de temps en temps.

Eaux sulfureuses diverses.

A Saint-Gratien, sur la rive nord du lac d'Enghien, des recherches d'eau sulfureuse ont été faites en 1870. Les travaux ont consisté en six fosses de 3 mètres de longueur, 2 mètres de largeur, et 3m,75 de profondeur au maximum. Ces fosses se sont remplies d'eau sulfureuse, d'un titre sulfhydrométrique de 10 à 30°; le débit total de cette eau était de 15 mètres cubes par 24 heures. En mettant les fosses à sec, on a trouvé quelques griffons distincts plus riches (l'un d'eux avait un titre de 59°), mais peu abondants.

Ces eaux ne sont pas exploitées.

A Compans et à Cernay (Seine-et-Marne), il existe également des eaux sulfureuses non exploitées.

Eaux de Provins.

L'eau minérale de Provins vient d'une nappe d'infiltration reposant sur l'argile plastique, dans la vallée du Durteint. On la recueille au fond d'un puits qui a traversé les couches suivantes :

	mètres.
1° Limon d'attérissement, marneux et sableux. . . .	4
2° Argile ocreuse grise, puis noire.	3
3° Tourbe compacte noire, argile pyriteuse.	4
	11

On en tire l'eau à l'aide d'une pompe. Cette eau est employée en boisson, et le débit de la source est largement suffisant pour cet usage.

L'eau est limpide au sortir de la source, mais elle se trouble rapidement à l'air. Sa température est de 10 à 12 degrés; la saveur en est légèrement styptique.

L'analyse faite par M. Rivot en 1863 a donné les résultats suivants :

Un litre d'eau renferme :

	grammes.
Acide carbonique libre et des bicarbonates. .	0,294
Acide carbonique des carbonates.	0,270
Acide chlorhydrique.	0,020
Acide sulfurique.	0,014
Silice.	0,016
Peroxyde de fer	0,053
Chaux.	0,286
Magnésie	0,060
Potasse	0,053
Soude.	0,120
Traces de substances organiques.	»
	1,186

Un dépôt ferrugineux se trouvait au fond de chaque bouteille. On a analysé l'eau avec le dépôt sans le séparer.

Résidu par litre d'eau : = $0^g,94$.

L'oxyde de fer déposé par litre = $0^g,04$.

L'oxyde de fer resté en dissolution = $0^g,13$.

La quantité de substances minérales dissoutes diminue dans les saisons pluvieuses, ce qui prouve que ces eaux ne viennent pas d'une grande profondeur. Elles se chargent de matières minérales sans doute en traversant le terrain moderne, qui contient des pyrites plus ou moins altérées.

Eaux de Segrais.

La source minérale de Segrais, près de Pithiviers, est intéressante par sa position au milieu de la vaste formation du calcaire de Beauce. Cette source était connue et les eaux en étaient employées au siècle dernier. Elle s'était tarie depuis; on l'a retrouvée par hasard il y a peu d'années.

Les eaux de cette source sortent du calcaire, dans un vallon de 20 à 25 mètres de profondeur, coupé dans le grand plateau de la Beauce; elles sourdent au fond d'un puits de 3^{m},50 de profondeur; on les élève au moyen d'une pompe. Le débit, non mesuré, est peu considérable.

Ces eaux sont froides, ferrugineuses, limpides au moment où elles sortent de la source; au bout de peu de temps, elles se troublent en formant un dépôt ocreux.

Les sources de Noyers (à 20 kilomètres sud de Montargis), et de Beaugency, qui s'échappent également du calcaire de Beauce, sont analogues à celles de Segrais.

Eaux de Montmorency.

Les eaux de Montmorency sont ferrugineuses; elles coulent aux affleurements des marnes à huîtres, à la base des sables de Fontainebleau. Le débit en est assez minime (1.300 litres par 24 heures); elles alimentent un puits de 2 mètres de profondeur. Elles ont un goût franchement ferrugineux et déposent des enduits ocreux. Elles ne sont guère utilisées.

Le fer provient évidemment de quelque partie ferrugineuse des sables de Fontainebleau.

Eaux de Forges.

Les eaux des sources de Forges (*) proviennent de la nappe de l'argile plastique, qui affleure en divers endroits dans la vallée du Pivot. Ce sont des eaux extrêmement pures, méritant peu le nom de minérales, puisqu'elles ne renferment guère plus que $\frac{1}{10.000}$ de carbonates de chaux et de magnésie.

(*) Ne pas confondre ce Forges avec Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure).

D'après le Dr O. Henry, ces eaux contiennent par litre :

	grammes.
Carbonates de chaux et de magnésie	0,12
Sulfate de chaux	0,065
Chlorures de sodium et de magnésium	0,013
Matières organiques	traces

Le débit des sources est difficile à apprécier, car il suffit de creuser un puits pour en obtenir une nouvelle. Celle de M. Raymond peut donner 3.000 litres par 24 heures; celle de madame Courtry suffit à 3.000 bains par saison.

La température de ces eaux, assez constante, est de 12 à 14 degrés.

Un rapport sur l'emploi des eaux de Forges contre les maladies scrofuleuses a été fait au nom de la commission des eaux minérales et lu dans la séance de l'Académie des sciences du 22 novembre 1842, par M. le Dr Ph. Patissier. L'assistance publique possède à Forges, comme à Berck-sur-Mer, un hôpital pour le traitement des enfants scrofuleux.

Sources diverses.

Je citerai enfin, pour mémoire, les sources suivantes, non exploitées, qui existent dans les départements de Seine-et-Oise et du Loiret :

La source ferrugineuse de Bierville, à quelques kilomètres au sud d'Étampes, dans la vallée de la Juine; elle sourd à la base du terrain tertiaire moyen;

La source ferrugineuse de Saint-Remi-lès-Chevreuse, au contact des marnes vertes et des sables supérieurs;

Celles de Porchefontaine et de Trianon, dans les mêmes conditions géologiques;

La source de Ferrières (Loiret), à 12 kilomètres au nord de Montargis; les eaux qu'elle donne contiennent des sulfates de fer, de chaux et de magnésie, et sortent de la craie.

Enfin celle de Saint-Goudon (à 6 kilomètres ouest de Gien), dont l'eau contient de l'acide carbonique libre et des carbonates de fer, de chaux et de magnésie; elle sort aussi de la craie.

Note sur le titre sufhydrométrique des eaux sulfureuses. — On obtient le titre d'une eau sulfureuse en versant dans un litre de cette eau une dissolution de 2 grammes d'iode dans un décilitre d'alcool ou d'eau distillée. On ajoute au préalable à l'eau sulfureuse quelques gouttes d'un empois d'amidon; on verse la liqueur titrée jusqu'à ce que l'amidon donne une couleur bleue. Le nombre de centimètres cubes employés donne le degré sulfhydrométrique. On ajoute souvent dans la dissolution d'iode 2^g,5 d'iodure de potassium, on augmente ainsi notablement la solubilité de l'iode. L'iode décompose l'hydrogène sulfuré et les sulfures alcalins, en donnant de l'acide iodhydrique et un iodure alcalin, ainsi que du soufre libre. 2 grammes d'iode correspondent environ à 173 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré.

NOTICE

SUR

LES MINES D'ANTHRACITE DE LA MURE

Par M. FERRAND, ancien élève-externe de l'École des mines.

Géologie. — Le canton de La Mure renferme trois systèmes de terrains; les schistes micacés, un peu talqueux, appelés vulgairement, dans le pays, pierre de bois; le terrain à anthracite, qui repose directement sur les schistes micacés; les calcaires, qui recouvrent le terrain à anthracite, et dans lesquels on trouve souvent des schistes noirs.

Le terrain à anthracite de La Mure est composé de couches plissées ou ondulées dans toutes leur étendue, et présentant une série alternative de selles et de fonds de bateaux, dont les axes rectilignes ou légèrement courbes occupent toujours une position inclinée, et sont à peu près parallèles entre eux. Aussi les traverses au rocher, faites en ligne droite, atteignent-elles plusieurs fois la même couche.

Les couches d'anthracite renferment fréquemment des lits de schistes noirs, qui prennent quelquefois une assez grande épaisseur, et divisent la couche en plusieurs parties, qu'il faut exploiter séparément. On rencontre également, au milieu des couches, des amygdales rocheuses de pyrites de fer et d'autres substances minérales, appelées des nerfs, et connues dans le pays sous le nom de *codes*.

Les couches, à la suite des perturbations qui ont occasionné leurs ondulations, ont été étranglées et même quelquefois complètement supprimées par une compression entre les roches du toit et du mur. Alors il reste presque toujours entre ces roches un ou plusieurs filets de quartz,

peu résistant. D'autres fois, aussi, les couches sont renflées sur certains points. Par suite de ces contournements, l'anthracite se trouve souvent brisé et pétri, il est dès lors très friable et forme ce que les ouvriers du bassin appellent la *molle*.

Les couches, à la suite des perturbations souterraines, éprouvent aussi des rejets qui ne sont jamais considérables et qui sont appelés escaliers par les mineurs.

Situation du bassin. — Le terrain à anthracite de la Mure (ou du Drac) comprend entre Grenoble et la Mure un rectangle de 16 kilomètres sur 8 kilomètres, dont le grand côté oriental, allongé du nord au sud, serait à peu près formé par la portion de la grande route de Grenoble à Gap (*fig.* 2, Pl. V) comprise entre Laffrey et La Mure, la base opposée par le torrent même du Drac, et les côtés étroits par deux droites menées perpendiculairement de l'est à l'ouest par la Mure et Laffrey.

Cependant les roches anthracifères ne se montrent pas au jour dans toute l'étendue de ce rectangle de 128 kilomètres carrés. Elles ne sont visibles en réalité que sur 21 kilomètres carrés, soit le $\frac{1}{6}$ environ, tandis que 12 kilomètres carrés sont occupés par le terrain inférieur, et le reste par des formations plus modernes, sous lesquelles le terrain anthracifère s'enfouit visiblement.

Le terrain de schiste talqueux est le terrain ancien ordinaire des Alpes, le terrain supérieur est formé de calcaires gris ou noirs, plus ou moins argileux ou schisteux; c'est le lias à la base, l'étage oxfordien dans les parties hautes. Quant au terrain à anthracite, il est en alternances variées de schistes et de grès plus ou moins charbonneux ou micacés, mais où les schistes dominent visiblement, sauf à la base, où l'on compte environ 150 mètres de grès durs, stériles. D'après la flore fossile, M. Grand'Eury a rangé ces couches d'anthracite de la Mure à la base du terrain houiller supérieur.

Allure du gîte. — Le terrain à anthracite n'existe pas dans tout le bassin. Il n'a pu résister partout aux grandes érosions qui ont ravagé ces contrées. Sur les pentes abruptes, il a été entièrement emporté, et les schistes talqueux sont dénudés. Sur quelques points, on rencontre des poudingues anthracifères enchevêtrés dans des roches talqueuses. Ailleurs, une partie seulement du terrain a été emportée, et comme, à la suite de ces érosions, les couches d'anthracite ont été mises à découvert, ce sont les premiers terrains qui ont été concédés.

Les nombreux travaux, exécutés jusqu'ici ont fait reconnaître que, lorsque le terrain à anthracite existe dans son entier, il renferme cinq couches d'anthracite, comme le montre la coupe (*fig.* 3, Pl. V).

La première de ces couches a 0m,80 de puissance, et quelquefois 0m,40 seulement; un massif stérile, formé de grès houiller, d'environ 50 mètres, l'a séparé de la Grande Couche. Cette première couche s'appelle couche supérieure ou couche Rolland.

La deuxième couche, appelée Grande Couche, et quelquefois la Rivoire ou la Grand'raye, a 12 mètres de puissance et donne de l'anthracite très pur, dont l'aspect est vitreux.

La troisième, qui est séparée de la Grande par un intervalle de 50 mètres, a 0m,90 de puissance; elle s'appelle la couche Henriette.

La quatrième, qui est éloignée de 25 mètres de la troisième, a 2 mètres de puissance. Elle est formée de trois bancs, séparés par des lits de schistes noirs. On l'appelle couche des Trois-Bancs.

Enfin la cinquième, qui est à 15 mètres de distance de la quatrième, n'a que 0m,60 de puissance, et n'est exploitable que lorsqu'elle est très inclinée. On la désigne par le nom de Couche inférieure.

Les galeries au rocher, normales à la direction moyenne

des couches, les traversent plusieurs fois; c'est ainsi que l'on a reconnu que la Croix, la Rivoire, le Faux-Filon, la Grand'raye ne forment qu'une seule et même couche, avec des pentes et contre-pentes. Il en est de même des autres couches qui paraissent à la Motte et aux Creys. Il est probable que la Grande Couche exploitée à Puteville et au Peychagnard est la même que celle-ci; seulement il y a solution de continuité par suite de la dénudation du terrain.

Situation de la mine. — La mine se trouve à 16 kilomètres du chemin de fer de Grenoble à Gap. Aussi a-t-on établi un magasin de réserve à la station de Saint-Georges du Comiers. Le transport du charbon de la mine au magasin de Saint-Georges se fait par voitures et chevaux, appartenant soit à la compagnie, soit à des entrepreneurs. En outre, depuis la Motte d'Aveillans jusqu'au carrefour de la Croix, comme le chemin va en montant, les habitants voisins, possédant une paire de bœufs, s'en servent pour les employer au renfort. On a soin de peser le charbon au départ et à l'arrivée, pour contrôler les voituriers.

Ce transport est très onéreux pour la compagnie, aussi aurait-elle le projet d'établir des tramways à vapeur; cependant l'on est toujours dans l'attente, car il y en ce moment à l'étude un projet de chemin de fer.

Disposition générale des travaux. Méthodes d'exploitation. — La région anthracifère de la Mure présentant des vallées et des montagnes, les gîtes de combustibles sont exploités par des galeries d'écoulement et non par des puits. Ces derniers ne servent que pour la découverte des couches, l'aérage des travaux et l'écoulement des eaux dans l'intérieur des mines.

Autrefois on exploitait les niveaux n° 1, 2, 3, 4, (*fig.* 3, Pl. V), maintenant on exploite 5, 6, 7, 8; et 9, 10 sont en préparation. La disposition de ces niveaux est visible sur la *fig.* 4, Pl. V. On a établi trois plans inclinés automoteurs; le premier allant du n° 5 au n° 6 et ayant une longueur de

50 mètres. Le deuxième allant du n° 6 au n° 8 et d'une longueur de 100 mètres; le troisième, du n° 7 au n° 8, avec une longueur de 100 mètres. Ils marchent avec un frein serré par un levier et en se servant simplement de wagons plats.

Travaux de recherche. — Ce sont les travaux faits au rocher, pour atteindre les couches. Ces galeries servent ensuite à l'écoulement des eaux, à l'extraction du combustible et à l'aérage des travaux; elles ont 1m,60 de haut, 1m,60 de large au niveau du sol, 1 mètre de large à la couronne. La pente est de 1 centimètre par mètre. Pour arriver à ces conditions, on donne aux ouvriers un panneau de rigole et un niveau de pente.

Du reste les chefs mineurs doivent les surveiller, et à chaque intervalle de 3 mètres d'avancement, le sol de la galerie doit être nivelé et un piquet de nivellement mis à demeure.

Travaux préparatoires. — Les travaux visent à satisfaire aux conditions suivantes : 1° faciliter l'écoulement ou l'épuisement des eaux qui arrivent dans les excavations; 2° rendre les transports souterrains commodes et peu dispendieux; ce but est atteint, d'après les expériences faites à la mine, en ne donnant pas une différence de niveau plus grande que 28 mètres entre deux mères galeries de l'exploitation; de là la différence de niveau, invariable, de 26 mètres (*fig.* 4, Pl. V); 3° faire circuler le volume d'air suffisant dans les parties où les ouvriers se trouvent; 4° rendre l'abattage facile et économique; 5° avoir des ateliers d'exploitation prêts à recevoir les ouvriers dont les tailles sont finies; 6° éviter de trop grands développements aux travaux, entraînant à un entretien dispendieux.

Par suite des nombreux plissements qu'elles ont éprouvés, les couches se présentent dans des dispositions verticales ou inclinées, et ne sont horizontales que sur une faible étendue. Les travaux exigent des modifications sui-

vant que l'inclinaison de ces couches est inférieure ou supérieure à 45°.

Examinons d'abord les travaux à exécuter dans une grande couche d'inclinaison supérieure à 45°; nous prendrons ensuite une grande couche d'inclinaison inférieure à 45°, et enfin les couches de moindre puissance.

Travaux préparatoires dans une grande couche d'inclinaison supérieure à 45 degrés. — Supposons que l'on soit arrivé au point A (*fig.* 5, Pl. V) par un travers-banc et une galerie d'allongement au toit, et qu'en ce point se trouve déjà un puits de recherche AA', fait au toit, suivant l'inclinaison de la couche; tout est déjà pris dans cette galerie supérieure, sauf la partie nécessaire pour l'aérage entre A' et le jour (*fig.* 6, Pl. V).

La différence de niveau entre A et A' est de $27^m,20$. On mène suivant le toit de la couche une galerie d'allongement AA^2A^3, etc., où l'on place un chemin de fer avec une pente de 1 centimètre par mètre; on pousse cette galerie jusqu'à la limite des champs d'exploitation. Au fur et à mesure que cette galerie AA^2A^3 avance dans la couche, on pratique d'abord en A^2, distant d'environ 10 mètres de A, et ensuite de 50 en 50 mètres, des galeries montantes ou montantes A^2B, A^3C, etc., qui permettent le passage des ouvriers et la descente des anthracites dans de grands paniers, auxquels sont fixés deux sabots ferrés, facilitant le traînage dans les montantes. Les ouvriers leur donnent le nom de *panières.*

Ces montantes partent de la galerie d'allongement à une hauteur de $0^m,80$ au-dessus du chemin de fer, et sur une première longueur de 3 mètres environ, sont menées carrément à la direction de la couche avec une pente de 5 centimètres par mètre, elles sont ensuite dirigées avec une pente invariable de 25 centimètres par mètre, de manière à rejoindre bientôt le toit contre lequel elles sont tracées dans le même sens, sur toute leur longueur dans l'amont-

pendage de la couche, jusqu'à la limite du champ d'exploitation.

En commençant ces galeries montantes, on leur a donné 5 centimètres de pente seulement, pour poser quelques panières pleines, en attendant leur chargement sur les wagons plats; et c'est pour rendre ce chargement plus facile qu'on a ménagé entre ces montantes et le chemin de fer cet escalier de 0^{m},80 de haut, que l'on appelle *chargeoir* dans le bassin. La galerie du chemin de fer a un peu plus de hauteur dans ses points de jonction avec les montantes, pour faciliter le travail des ouvriers chargeurs. On voit, du reste (*fig.* 7, Pl. V) les détails de raccordement d'un chargeoir.

On divise chaque montante en cinq intervalles égaux BB'B^{2}B^{3}A^{2}, etc. Cette division faite, après avoir retranché la hauteur de l'escalier ou chargeoir, qui demeure réservée, chacun de ces intervalles est égal à 5^{m},28 de différence de niveau, puisque nous avons supposé que l'amont-pendage de la couche au point A est de 27^{m},20. Au point B de la 1re montante, à 21^{m},92 au-dessus de la mère-galerie A, on a mené une galerie d'allongement au toit de la couche, avec une pente de 1 centimètre par mètre. Elle a été poussée jusqu'au point E, à 5^{m},50 de la deuxième montante A^{2}C, avec laquelle cette galerie d'allongement n'aurait pu faire une communication utile pour le parcours des travaux. Nous verrons bientôt cette communication s'établir plus facilement, autrement. On fait de même pour chaque montante. Au point C, on mène, toujours avec la pente de 1 centimètre par mètre, une galerie, carrément à la direction moyenne de la couche. Cette traverse vient atteindre le mur en E^{2} (*fig.* 8, Pl. V). On fait de même en D, etc.; puis on met toutes ces traverses en communication par une galerie d'allongement E^{2}E^{3}, etc. au mur de la couche.

Au point F de la traverse CE^{2}, à 2 mètres de la galerie d'allongement suivant le toit, on mène parallèlement à ce

toit avec une contre-pente de 1 centimètre par mètre, une petite galerie d'environ 13 mètres de long. Parvenue au point F', cette petite galerie est détournée carrément à droite et vient communiquer au point E avec la galerie d'allongement BE. On fait de même pour la traverse DE², etc. Tous ces travaux s'exécutent pour chaque montante, au fur et à mesure qu'on sent le besoin d'avoir de nouvelles tailles pour placer les ouvriers. On les exécute en descendant successivement de l'étage supérieur à l'étage inférieur. En outre, les galeries sont séparées d'un étage à l'autre par un massif d'anthracite de 3^m,30 à 3^m,50 d'épaisseur.

Dépilage dans une grande couche d'inclinaison supérieure à 45°. — Pour dépiler les charbons ainsi préparés, il faut se porter au point le plus avancé de l'étage le plus élevé, c'est-à-dire au point D (*fig.* 8, Pl. V), puis enlever toute la tranche en reculant de D en C, de C en B, etc. Cette tranche abattue, on épuise de même la tranche D'C'B', qui lui est immédiatement inférieure, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on soit arrivé au bas de l'étage. Dans chaque tranche, la manière d'enlever le charbon est identiquement la même, il suffit donc d'indiquer la manière de prendre un pilier. Supposons que l'on veuille prendre le pilier GG'G²G³ (*fig.* 9, Pl. V).

Entre les points GH et G'H' il existe deux murailles en pierres sèches, qui retiennent les menus anthracites et les déblais provenant du dépilage du pilier contigu que nous avons déjà supposé entièrement enlevé. Ces murailles sont faites avec des morceaux de grès, que l'on obtient par l'abattage de l'anthracite, avec lequel ils sont souvent mélangés. Dans la galerie, suivant le toit entre les points H²H³ à 2 mètres en arrière de la muraille GH, un ouvrier mènera une traverse de 1^m,50 de large, de manière que le pilier d'anthracite, qui sera compris entre cette traverse et le dépilage précédent, aura à peu près 2 mètres d'épaisseur. Cette traverse viendra communiquer, entre les points H⁴I, dans la galerie d'allongement sur le mur, qui a été pra-

tiquée lors des travaux préparatoires. L'ouvrier démolit alors la muraille en pierres sèches existant entre G'H' et construit une muraille semblable entre les points II', pour empêcher la galerie d'allongement sur le mur d'être obstruée. Avec des déblais retirés du dépilage précédent, il bourre toute la petite galerie $H^4G^1H^1I^2$ jusqu'à la hauteur de la couronne, et, pour retenir les déblais, élève sur l'alignement de sa traverse une autre muraille en pierres sèches entre les points H^4I^2. Il accumule ensuite sous ses pieds les menus ou déblais, qu'il s'est ménagés, et s'élève sur le mur en suivant la direction de sa traverse. Si le mur de la couche est presque vertical, et si les menus ou déblais ne sont pas suffisants, il détache alors quelques-unes des pierres les plus élevées de la muraille H^4I^2, pour attirer à lui les déblais du dépilage précédent; il abat, en outre, une certaine quantité d'anthracite pour exhausser la couronne de la petite galerie $H^4G^1H^1I^2$, et de la portion de la traverse qui est contiguë; il commence aussi, si le besoin s'en fait sentir, une autre muraille en pierres sèches, entre H^4I, pour empêcher l'obstrusion de la traverse. Le mineur arrive ainsi à percer entre I^2I^4, dans les déblais de la tranche supérieure déjà dépilée. Cette percée devra être faite en se rapprochant le plus possible du mur pour avoir plus de solidité et pour mieux enlever l'anthracite adhérent au mur.

Après avoir communiqué dans les dépilages supérieurs, le mineur se place dans la traverse déjà faite, entre les points JH^4, distants l'un de l'autre d'environ 1^m,50, et mène une petite galerie, côtoyant l'alignement de la galerie contiguë $H^4G^1H^1I^2$. Il vient percer dans les dépilages précédents entre les points J^1G^4, et forme ainsi une petite galerie, appelée *œillet*, dans le bassin de La Mure. La pose de quelques étais avec des bois de garnissage est nécessaire pour retenir les déblais sur la droite de l'ouvrier, au fur et à mesure qu'il avance dans la petite galerie ou œillet

$JJ^1G^1H^4$. Ces bois sont ensuite enlevés, et cet œillet bourré jusqu'à sa couronne avec des déblais retirés du dépilage précédent; ces déblais seront contenus à l'aide d'une muraille construite dans l'alignement de la traverse entre les points JH^4. Le mineur mène ensuite entre les points J^2,J un œillet entièrement semblable, en prenant encore la précaution de placer quelques boisages sur sa droite. Il vient percer dans les dépilages et continue comme précédemment. Il remblaie la traverse depuis J^2J^4 jusqu'au mur de la couche, ensuite toute la montante sur le mur jusqu'à la percée dans les dépilages supérieurs, en I^2I^4; ce remblaiement se fait à peu près jusqu'aux deux tiers de hauteur des galeries, en reculant de J^2J^4 jusqu'en I^2I^4, de manière à ce que l'ouvrier puisse encore passer, en marchant avec les mains et les genoux.

Le mineur se reporte ensuite entre les points J^2J^4 et s'élève sur ces déblais en boisant, si cela est nécessaire, avec une pente de 0,50, jusqu'à ce qu'il ait devant lui un gradin ou *remorse* d'anthracite d'environ 1^m,40 de haut, ce qui correspond à peu près aux deux tiers de la hauteur d'une galerie de dépilage à laquelle on donne ordinairement une plus grande élévation que dans les travaux préparatoires, 2 mètres au lieu de 1^m,60. Ces galeries ne présentent pas d'inconvénients dans les dépilages, lorsqu'on n'est pas près des niveaux supérieurs, et cela facilite l'abatage de l'anthracite en gros morceaux. Le mineur avance alors horizontalement jusqu'au mur de la couche, en abattant ce gradin, et forme dans l'anthracite une galerie horizontale $KK^1K^2K^3$ (*fig.* 10, Pl. V) de 3 à 4 mètres de long.

Parvenu au mur de la couche, l'ouvrier abat, jusqu'à la hauteur de la couronne, l'anthracite compris entre la paroi gauche de cette galerie $KK^1K^2K^3$ et les dépilages précédents, et reposant déjà sur les déblais. Il s'y prend de la même manière que celle indiquée pour le pilier $J^2H^4G^1J^3$

(*fig.* 9, Pl. V). L'excavation produite est bourrée avec des déblais attirés de l'étage supérieur, et on les maintient avec une muraille construite sur le côté gauche de la galerie $KK^1K^2K^3$, puis le mineur remblaie cette galerie depuis le point K jusqu'à la percée dans les dépilages supérieurs, remblai toujours fait aux deux tiers de la hauteur de la galerie et en reculant de K jusqu'à cette percée.

Le mineur s'élève encore à partir de K, avec une pente de 0,50, jusqu'à ce qu'il ait un nouveau gradin ou remorse d'anthracite de $1^m,40$ de haut; il marche alors en formant une petite galerie horizontale $LL^1L^2L^3$ (*fig.* 10, Pl. V) qui vient aboutir au mur de la couche, près de la percée dans les déblais du dépilage supérieur, et n'ayant à sa couronne qu'une épaisseur de $0^m,50$—$0^m,60$ d'anthracite au plus, pour la protéger contre les déblais de ce dépilage; la pose de cadres est ici indispensable pour prévenir les éboulements. Arrivé au mur, le mineur attaque encore l'anthracite compris entre le côté gauche de la galerie $LL^1L^2L^3$ et les dépilages précédents, et qui repose sur les déblais; il y fait un œillet de $1^m,50$ de large environ, le plus rapproché possible du mur, et venant communiquer dans les dépilages antérieurs. Il détache d'abord l'anthracite qui se trouve entre cet œillet et les dépilages, en avant de l'œillet, et ensuite sur sa droite du côté du mur de la couche. Il enlève celui des cadres qui est le plus avancé vers les vieux dépilages, et le poids des déblais supérieurs fait ordinairement tomber l'anthracite de la couronne de cet œillet, sinon le mineur en facilite la chute à l'aide d'un levier de fer, en prenant toutefois les précautions nécessaires pour ne pas s'exposer. Il recule en enlevant successivement tous les cadres de l'œillet et de la galerie $LL^1L^2L^3$, et, après avoir enlevé l'anthracite tombé, il élève une muraille à l'angle où avait été ouvert l'œillet.

Ce premier dépilage terminé, le mineur se reporte dans la traverse aux points MM^1 (*fig.* 9, Pl. V), distants d'environ

5 mètres des points J^2J^4 : c'est ce que les ouvriers appellent *prendre de la course.* Il fait pour le pilier $MJ^2J^3M^2$ la même série d'opérations que pour le pilier $J^3H^4G^1J^3$. La *fig.* 11, Pl. V, donne, du reste, la série des galeries pratiquées successivement pour le dépilage de ce pilier.

Le mineur attaque ensuite le pilier du toit M^3MM^2H, qui ne présente pas plus de difficultés. Puis il enlève le pilier H^3M^4NI, le plus rapproché du précédent, et il continue ainsi de suite, d'après la même méthode.

Cependant, dans l'enlevage du pilier près du toit, si l'inclinaison approche de la verticale, la course manque à l'ouvrier pour atteindre les anthracites élevés de près de 5 mètres au-dessus des points HM_2H^2G. Dans ce cas, il continue à dépiler autant que faire se peut, et, quand il est arrêté faute de course, il remblaie avec des déblais, attirés de l'étage supérieur, la galerie $M^3N^1M^1M$ jusqu'aux deux tiers de sa hauteur, ainsi que la portion M^2H^2GH de l'ancienne galerie suivant le toit. Il fait ensuite une muraille entre N^1H^3 pour empêcher l'obstrusion de la galerie d'allongement suivant le toit. Le dépilage est suspendu jusqu'à ce que celui du pilier H^3M^4NI soit arrivé aussi près du toit; alors le mineur emprunte de la course dans la galerie d'allongement, suivant le toit $M^3N^2M^4H^3$, et le dépilage suspendu peut être achevé facilement.

Jusqu'ici il n'a été question que d'un mineur employé dans le dépilage décrit; il est souvent nécessaire de pouvoir grouper un certain nombre d'ouvriers les uns près des autres, sans qu'ils se gênent mutuellement.

Lorsque la traverse $H^2H^3IH^4$ sera avancée à peu près jusqu'aux deux tiers de la longueur qu'elle doit avoir, un deuxième mineur pourra commencer la traverse $M^4N^3N^4N$, séparée de la première seulement par un pilier de 2 mètres d'épaisseur; celle-ci étant, à son tour, aux deux tiers de sa longueur, un troisième mineur commencera la troisième traverse, etc. La succession de ces travaux, échelonnés les

uns près des autres, suppose seulement que les mineurs suivent une marche uniforme.

Le nombre de ces mineurs n'est pas encore assez grand pour former un atelier considérable. Les travaux préparatoires sont dispendieux à entretenir, ainsi que nous l'avons déjà dit; il ne faut les ouvrir qu'au fur et à mesure qu'on a besoin de nouvelles tailles de dépilages, ce qui nécessite l'enlevage simultané de plusieurs piliers dans un même étage, pour obtenir la concentration d'un grand nombre d'ouvriers. On y arrive ainsi : On a la même disposition pour le traçage ; ce sont les mêmes montantes, les mêmes galeries d'allongements au toit et au mur, etc. (*fig.* 12 et 13, Pl. V).

Il s'agit de dépiler le large pilier CBE^{4}E^2, en même temps que le pilier CE^{2}E^{3}D, qui tous les deux font partie de la tranche DCB, et cela sans que le dépilage de l'un nuise à l'autre.

Un mineur sera placé en E (*fig.* 13, Pl. V), où la petite galerie F^{1}E communique avec la galerie d'allongement au toit BE, et commencera le long du toit avec la pente de 0^m,25, une galerie montante parallèle à la montante C, C et séparée de cette dernière par un massif d'anthracite d'au moins 5^m,50 mesurés horizontalement. Cette montante viendra percer dans les dépilages supérieurs aux points O. Dès qu'il aura reconnu ces dépilages par une très petite ouverture, l'ouvrier redescendra dans sa montante et commencera en O^1 une traverse de 1^m,30 de haut et de 1^m,10 de large seulement, de manière que cette traverse soit garantie des déblais supérieurs par un massif d'anthracite d'environ 0^m,40 — 0^m,50 d'épaisseur. Il mènera cette traverse comme les autres, carrément, jusqu'à la percée du mur. L'anthracite qui existe à la gauche de l'ouvrier, en allant du toit au mur, aura la forme d'un prisme. Le mineur arrive cependant à le dépiler complètement en pratiquant dans ce prisme des espèces d'œillets ou petites

galeries montantes avec une pente analogue à celle de la montante EO, et en opérant comme je l'ai décrit pour la galerie $LL^1L^2L^3$. Il lui faut seulement placer des cadres un peu plus courts et plus rapprochés.

Pendant que ce premier mineur mène sa traverse O^1O^2 et la dépile, un second, placé en descendant dans la montante, au point O^3, y pratique une nouvelle traverse parallèle à la précédente avec un intervalle d'anthracite de $1^m,50$-2 mètres d'épaisseur. Cette traverse est dépilée de même par œillets ou galeries montantes, avec la pente de EO. On établit ainsi plusieurs traverses dans la montante OE, avec intervalles de $1^m,50$-2 mètres, jusqu'à ce que l'on soit arrivé en E. La petite traverse EF^1 est alors poursuivie et menée jusqu'au mur de la couche au point B^4 et jusqu'aux déblais de l'étage supérieur. Le pilier EBE^4B^4, reste du large pilier qui nous occupe, est alors dépilé, suivant la méthode ordinaire. Pendant ce temps, d'autres mineurs s'occupent d'enlever d'après cette même méthode le large pilier CE^2E^3D. Il est resté entre les montantes EO et C^1C un massif d'anthracite, qui a été conservé sur toute l'épaisseur de la couche, ce massif est suffisant pour protéger la montante C^1C, qui sert de passage aux mineurs occupés au dépilage du pilier CE^2E^3D.

Le dépilage de ce pilier CE^2E^3D approchant de sa fin, le petit pilier en forme de prisme qui existe entre les traverses CE^2 et EB^1 est pris par œillets comme précédemment, mais seulement il y a une plus grande dépense de main d'œuvre et de boisage.

Il serait possible de dépiler à la fois tous les piliers d'une tranche, mais cela n'est pas nécessaire et les dépilages deviennent plus coûteux. Il suffit d'établir des dépilages à des intervalles de 100-150 mètres de longueur dans une même tranche, pour obtenir la concentration d'un grand nombre d'ouvriers. Du reste, dans le bassin de La Mure, on profite des étranglements que présentent les

couches pour s'en servir comme interruption naturelle des dépilages.

Travaux préparatoires dans une grande couche d'inclinaison inférieure à 45°. — Les travaux préparatoires sont à peu près les mêmes que les précédents : l'amont-pendage au-dessus du point A est encore de 26^{m},40, distraction faite des 0^{m},80 de hauteur du chargeoir (*fig.* 14, Pl. V); même division en tranche, avec cette petite différence que la galerie d'allongement suivant le toit, partant de B, avec la pente de 0,01 n'a été menée que jusqu'au point P à égale distance des points C et B. Un autre mineur, placé dans la montante $C^3C^2C^1C$ à 0^{m},50 au-dessous du point C, a pratiqué à contre-sens, toujours avec la pente ordinaire, une autre galerie d'allongement suivant le toit CP, qui est venue communiquer avec la précédente en P.

On mène ainsi dans toute la couche les galeries d'allongement au toit. Pour la communication des galeries d'allongement, on n'a plus besoin des petites galeries précédentes ; l'inclinaison étant inférieure à 45°, cette communication ne présente plus la moindre difficulté pour le parcours des travaux. On mène carrément à la direction moyenne de la couche (*fig.* 15, Pl. V) les traverses QR, CE^1, PR^1, DE^2, etc., qui viennent atteindre le mur, et elles sont reliées entre elles par des galeries d'allongement sur le mur RE^1E^2; et de même dans chaque tranche. On donne une pente plus forte que la pente ordinaire, environ 0,025, aux galeries d'allongement E^1R^1, etc., et une pente de 0,005 seulement aux galeries à contre-sens E^1R, E^2R^1 afin, de permettre l'écoulement des eaux et de ne pas avoir de différences de niveau aux points de jonction de ces diverses galeries sur le mur.

L'inclinaison de la grande couche étant inférieure à 45°, les traverses DE^2, PR^1, CE^1, etc., seraient très longues, on serait obligé de placer un grand nombre de cadres au moment des dépilages, ce qui fatigue toujours le charbon.

Pour parer à cet inconvénient, on mène de la traverse CE[1] à la traverse PR[1] une galerie R[2]R[3], et cela pour les diverses tranches. Ces galeries R[2]R[3], R[4]R[5], etc., sont désignées dans le bassin de La Mure sous le nom d'*avancements préparatoires;* on concentre ainsi les dépilages dans une moindre étendue de travaux. Si le pilier compris entre les avancements préparatoires et les galeries d'allongements du mur avait plus de 10 mètres d'épaisseur, il faudrait mener un second avancement préparatoire à 10 mèt. environ du premier. Les traverses ici sont établies de 25 mètres en 25 mètres, et les tranches, au nombre de cinq ont une épaisseur de 5^{m},28.

Dépilage dans une grande couche d'inclinaison inférieure à 45°. — Je suppose que l'on veut dépiler le pilier CE[1]E[2]D. Le mineur se porte dans la traverse PR[1] qui le divise en 2 parties égales, et placé au point R[1], il mène une montante sur le mur, suivant la direction de cette traverse; il vient ainsi percer dans les déblais de l'étage supérieur, au point S. Une fois en communication avec ces déblais, il se conforme à la méthode déjà décrite pour le dépilage d'une grande couche. Il renouvelle la série alternative de petites galeries montantes et horizontales, avec la seule différence que ces dernières sont beaucoup plus longues, vu le peu d'inclinaison de la couche (*fig.* 16, Pl. V).

Le mineur recule successivement de S en R[1], en R[2] et jusqu'en P, en enlevant tout l'anthracite au-dessus de la traverse SR[1]R[2]P, sans s'occuper des piliers qui existent de chaque côté de cette traverse. Ce dépilage commencé, deux autres mineurs se placent dans la galerie d'allongement sur le mur en S[1] et S[2], et mènent deux montantes S[1]S[3] et S[2]S[4], de manière que le pilier d'anthracite compris entre chacune d'elles et la montante R[1]S ait environ 2 mètres d'épaisseur. Ces deux montantes et le pilier d'à-côté sont dépilés suivant la méthode ordinaire. Au moment où les mineurs commencent à dépiler les montantes S[1]S[3],

S^2S^4, deux autres mineurs mènent deux nouvelles montantes T et T^1 comme les précédents ; puis deux autres sont placés dans l'avancement préparatoire et commencent en T^2 et T^3 deux nouvelles traverses dites aussi *traverses préparatoires*, qui viennent communiquer dans la galerie d'allongement sur le mur aux points S^1 et S^2. Les mineurs qui ont commencé le dépilage dans les montantes S^1S^3, S^2S^4 le continuent dans les traverses préparatoires T^2S^1 et T^3S^2, puis dans les traverses préparatoires T^4T^2 et VT^3, qui seront menées plus tard dans les mêmes conditions.

Les dépilages vont donc en s'éloignant de la traverse PR^1 pour se rapprocher de la traverse DE^3 d'une part et de CE^1 de l'autre. Au moment où l'on commence a dépiler CE^1E^3D, d'autres mineurs attaquent aussi dans la traverse QR le dépilage du pilier CBE^4E^1. Ces derniers vont, les uns, en se rapprochant de la traverse CE^1, les autres de la traverse BE^4. La traverse CE^1 est dépilée à droite et à gauche ; il en est de même des deux autres traverses DE^3 et BE^4, qui deviendront, chacune à leur tour, un centre de dépilage.

Lorsque les dépilages arrivent près du toit, dans une grande couche d'inclinaison inférieure à 45°, et que ce toit présente une certaine solidité, l'ouvrier construit sous ce toit une épaisse muraille en pierres sèches, en se servant des morceaux de grès qu'il trouve dans les déblais. Cette muraille que l'on désigne dans le bassin sous le nom d'*ancre*, se commence à l'entrée des traverses PR^1 et QR (*fig.* 15, Pl. V), et se prolonge au fur et à mesure des dépilages, à peu près sur l'alignement des piliers d'anthracite qui côtoient l'ancienne galerie d'allongement au toit. On construit souvent une autre ancre à côté de la première, sur même alignemeut, en laissant entre elles un intervalle de quelques mètres. Ces ancres augmentent beaucoup la solidité du toit et permettent de le conserver debout sur une grande étendue, malgré l'enlèvement de l'anthracite ; cela

facilite l'aérage et le parcours des travaux. La construction de ces ancres est également avantageuse pour les petites couches d'inclinaison inférieure à 45°.

Travaux préparatoires dans une petite couche d'inclinaison inférieure à 45°. — Ces travaux sont semblables à ceux d'une grande couche de même inclinaison, sauf deux exceptions, qui viennent simplifier le traçage.

1° Comme les galeries au rocher traversent plusieurs couches, il s'ensuit que l'amont-pendage d'une petite couche au point A (*fig.* 17, Pl. V) est de 26,40 de haut comme pour une grande. Seulement, au lieu de cinq tranches, cette hauteur est divisée en quatre tranches de 6^m,60 chacune, en n'y comprenant pas la hauteur du chargeoir, 0^m,80.

Il est plus facile en effet, dans une petite couche, de dépiler des étages plus élevés ou plus épais que dans une grande, parce que l'ouvrier est toujours près du toit et n'a besoin que de peu de remblais pour s'exhausser et l'atteindre. Dans une grande couche, au contraire, il faut que l'ouvrier attire à lui beaucoup de remblais pour arriver jusqu'aux bancs d'anthracite les plus élevés de chaque tranche, et si celles-ci avaient trop de hauteur ou d'épaisseur, cela ferait disparaître, dans l'abatage de l'anthracite l'économie que présentent les dépilages, relativement aux travaux préparatoires. Les expériences faites ont prouvé que la dimension la plus convenable était une épaisseur de 5 mètres pour les tranches des grandes couches, et de 7^m,50 au maximum pour celles des petites couches, et cela, quelle que soit leur inclinaison.

2° On pratique seulement des montantes avec la pente ordinaire et partant de la galerie du chemin de fer, de 50 en 50 mètres; mais il n'y a qu'une seule galerie d'allongement par tranche, et partant point de traverses. Lorsque l'épaisseur de la couche dépasse la hauteur d'une galerie ordinaire, ces montantes et ces galeries d'allongement sont dirigées de préférence suivant le mur de la couche, afin

d'avoir plus de facilité à abattre des bancs de charbon supérieurs; avantage dont on est privé quand la galerie est placée au toit (*fig.* 18, Pl. V).

On a donc la galerie d'allongement au mur $E^1R^1E^2$, ainsi que les montantes S^2S^4, R^1S, S^1S^3, etc.

Dépilages dans une petite couche d'inclinaison inférieure à 45°. — Supposons les dépilages exécutés jusqu'en C (*fig.* 17, Pl. V), il s'agit de dépiler, à partir de la montante $CC^1C^2C^3$. On se porte au point P à égale distance de C et de B. L'ouvrier placé en ce point représenté par R^1 (*fig.* 18, Pl. V) pratique sur le mur de la couche, et carrément à la direction de la galerie d'allongement, une montante, qui vient communiquer dans les déblais supérieurs en S. Il enlève ensuite l'anthracite adhérent au toit au-dessus de la montante R^1S, en rétrogradant de S en R^1. Pendant ce temps, deux ouvriers placés en S^1 et S^2 pratiquent deux montantes identiques S^1S^3 et S^2S^4, avec pilier de deux mètres d'épaisseur entre elles et la montante R^1S, et l'opération s'effectue comme précédemment. Quand l'anthracite est dur et le toit solide, au lieu de laisser un pilier entre les montantes, l'ouvrier placé en S^1, mène, de ce point jusqu'aux déblais supérieurs, une montante de 2 mètres à 2^m,50 de large, ayant d'un côté l'anthracite solide et de l'autre le dépilage déjà opéré de la montante S^1R^1; c'est ce que l'on appelle ***prendre en chemise***. Ce système permet d'obtenir en gros morceaux l'anthracite déjà dégagé d'un côté.

Travaux préparatoires dans une petite couche d'inclinaison supérieure à 45°. — On est arrivé dans la petite couche au point A par une traverse et une galerie d'allongement, avec un puits AA^1. La hauteur de l'amont-pendage au-dessus de A est toujours de 26^m,40, la hauteur du chargeoir étant toujours réservée. On a mené la galerie d'allongement AA^2A^3, etc. au mur et on y a établi un chemin de fer (*fig.* 19, Pl. V). Pour pratiquer la montante B^2B^1B, dont la pente sera de 0^m,25, il faut au point A^2 mener dans le mur une traverse

au rocher carrément à la direction de la couche. Cette traverse avancée de 3 mètres environ, on commence dans le mur de la couche et parallèlement à la galerie AA^2A^3 une montante, qui s'incline ensuite, de manière à rentrer dans la couche, en laissant au moins un mètre de massif d'anthracite entre elle et la couronne de cette galerie.

Une fois rentrée dans la couche, cette montante la suivra jusqu'aux points B^2B^1B. On fait de même pour les autres montantes et l'on a soin de placer au pied de chacune d'elles un embranchement de chemin de fer (*fig.* 20, Pl. V).

On divise l'étage en quatre tranches de $6^m,60$ chacune. La galerie d'allongement suivant le toit BE^1, qui part de B pour arriver en E^1 à $5^m,50$ de la couronne de la montante CC^1C^2, peut être menée sans inconvénient, ainsi que la galerie d'étage CE^2, etc., car les montantes B^2B^1B, C^2C^1C, ne se prolongent pas au delà de B, C. Ce n'est pas la même chose pour B^1V^1 et quand les dépilages obligent à mener cette galerie, il faut encore pratiquer au point B^1, dans le mur de la couche, une traverse d'environ 3 mètres comme pour le commencement des montantes en A^2,A^3 (*fig.* 21, Pl. V).

On prend à l'extrémité de cette traverse une galerie au rocher, d'abord parallèle à la couche, puis s'inclinant pour y rentrer, en passant au moins à 1 mètre au-dessous du sol de la montante BB^1B^2. Une fois rentrée dans la couche, cette galerie B^1V^1 la suit jusqu'en V^1_1 à $5^m,50$ de la montante C^2C^1C. On fera de même en B^2C^2, etc.

Pour bien conduire les travaux ci-décrits, il est utile de lever les plans de toutes ces montantes et des galeries d'allongements, au fur et à mesure de leur avancement. Plus tard la facilité avec laquelle on dépile rachète largement la peine prise.

Ces travaux préparatoires présentent souvent des difficultés d'aérage pour les galeries d'allongement qui ont près de 50 mètres de long, et qui, à leur extrémité, auront encore

des montantes d'environ 20 mètres pour commencer les dépilages. On pare à ces difficultés au moyen de puits établissant une communication, soit avec une montante rapprochée, soit avec une galerie d'allongement d'un autre étage.

Dans les couches d'inclinaison inférieure à 45°, il y a un autre moyen d'aérage plus simple que ces puits, qui augmentent le prix d'abatage et donnent plus de menus. Cela consiste à mener la galerie d'allongement d'une tranche intermédiaire avant l'achèvement des montantes. Les montantes se trouvent ainsi en communication les unes avec les autres et peuvent être facilement prolongées jusqu'à leur extrémité supérieure. Cette exception est suffisamment motivée par les avantages qu'elle présente. Dans les couches plus inclinées que 45°, cette galerie aurait au contraire beaucoup d'inconvénients, un puits est préférable. On lui donne une forme rectangulaire, le grand côté perpendiculaire à la direction de la couche, pour avoir une plus grande solidité. S'il doit avoir peu de durée, on le place de la manière la plus commode pour la disposition des galeries; mais s'il faut qu'il dure longtemps, on mène dans le toit de la couche une traverse de 2 mètres de large; à son extrémité on fonce le puits, qui ne tarde pas à rentrer dans la couche. Cela est moins dispendieux que d'entamer les salbandes du toit et du mur, pour élargir la galerie et pratiquer le puits dans cet élargissement soutenu par un grand nombre de cadres. Il ne gêne pas ainsi la circulation et sert pour l'écoulement des eaux, ce qui sèche les montantes et facilite le traînage.

Dépilage d'une petite couche d'inclinaison supérieure à 45°. — L'étage est supposé dépilé jusqu'en C; pour continuer à dépiler cette tranche, un mineur est placé en E^1 et commence, en suivant le mur avec une pente de 0,25, une montante E^1U parallèle à la direction de la montante CC^1C^2 et séparée d'elle par un massif d'anthracite d'environ $5^m,50$. Cette montante vient percer les dépilages supé-

rieurs en U. Lorsque le mineur approche de ce point, il lui faut placer des cadres pour soutenir la couronne de la galerie, qui est nécessairement très mince ; il détache les bancs d'anthracite qui peuvent adhérer au mur et au toit, il retire ensuite le cadre le plus avancé, ainsi que l'anthracite tombé, et après l'enlèvement de 2 ou 3 cadres, il établit un barrage pour avoir une certaine solidité. Le mineur attire les déblais de l'étage supérieur et remblaie environ jusqu'aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur, d'abord la galerie d'allongement depuis le point U^1 distant de 5 mètres de E^1, puis toute la montante jusqu'au barrage. Puis revenant en U^1, il s'élève avec une pente de 0,50 et marche en abattant son gradin d'anthracite d'environ $1^m,40$ de hauteur, jusqu'à ce qu'il arrive près du barrage qu'il a établi. Il construira dans sa montante, avec de gros morceaux de grès, ou à leur défaut avec des *dosses*, des marches d'escalier d'environ $0^m,50$ de haut, et distantes l'une de l'autre de près d'un mètre. Ces marches servent à retenir les déblais ; elles sont faites assez solidement pour permettre au-dessus d'elles le passage des panières pleines. Par une succession de montantes renouvelées et exhaussées, il épuise tout l'anthracite entre la montante E^1U et la montante BB^1 prolongée.

Au commencement du dépilage, un autre mineur placé en E mène la montante EU^2 semblable à la précédente, et opère de même. Les tranches inférieures seront dépilées plus tard, en menant les montantes V^1E^1, VE, etc., et ainsi de suite.

Lorsque l'anthracite est très dur, au lieu de marcher en montant de U^1 en E^1 et U, le mineur abat son gradin en descendant du U en E^1 et U^1, et en boisant derrière lui au fur et à mesure. C'est le mode par gradins renversés. On peut employer cette méthode dans les grandes couches comme dans les petites, mais alors il faut que la grande solidité de l'anthracite permette l'emploi d'un nombre restreint d'étais.

Détails.

Abatage. — L'anthracite, généralement dur et tenace, est le plus souvent dépourvu des stratifications tendres, qui dans les couches de houille permettent de faire des hâvages. Aussi les entailles qu'on y pratique au pic sont-elles plus larges et moins profondes ; il en résulte une plus grande quantité de menus, occasionnant une perte d'autant plus évidente, que leur écoulement dans le commerce est très restreint.

La poudre produit un bon effet sur l'anthracite dur dont les faces sont dégagées comme dans les dépilages. Son action sur l'anthracite non dégagé, comme dans les galeries d'avancement, est de beaucoup inférieure. Aussi préfère-t-on, malgré ses inconvénients, le pic pointu fortement aciéré.

On divise les piqueurs en deux classes : ceux de l'avancement et ceux des dépilages. Ils travaillent tous à prix fait et sont payés proportionnellement à la quantité de matière utile fournie. L'unité employée est la panière contenant 150 kilog. d'anthracite. Chaque ouvrier travaille pour son compte ; cependant lorsqu'une taille est assez large, comme les tailles d'avancement de la voie de roulage, on y met deux ouvriers, travaillant en commun. La journée est de 9 heures et commence à 6 heures du matin, l'ouvrier sort quand il a fini sa journée ; et le poste de nuit prend à 6 heures du soir. Celui-ci est plus restreint, car le travail de nuit équivaut à peine aux 8/9 de celui du jour. Le travail de nuit est précieux pour les tailles en retard, et même il arrive que souvent il ne suffit pas, on est obligé alors d'avoir recours aux journées de remplacement des ouvriers absents, ce qui est très défectueux.

Les piqueurs aux dépilages sont plus adroits ; ils sont chargés de l'abatage, du boisage, de l'enlevage des anciens cadres, du remblayage et du chargement de l'anthracite.

Le travail est plus pénible à cause des températures élevées qui se produisent dans les tailles ; aussi ont-il une journée plus forte. Pour stimuler le zèle de ces piqueurs par l'enlevage des cadres de galerie, qui se trouvent en dessous ou à côté, on leur paye $0^f,55$ par cadre complet retiré. La dépense de bois se trouve ainsi bien diminuée. Ainsi, dans le dépilage d'une grande couche, elle est de $0^{m3},001351$ par tonne, soit $0^f,0926$ par tonne, plus $0^m,580$ de dosses, correspondant à une valeur de $0^f,0812$. Le prix que touche le piqueur, suivant qu'il est au dépilage ou à l'avancement, est de $0^f,25$ à $0^f,90$ la panière de 150 kilog. Voici un tableau donnant le poids d'anthracite fourni en un jour par un ouvrier, et par suite le prix de la journée, que l'on ne peut fixer que d'après la nature du charbon.

PUISSANCE de couche.	INCLINAISON.	GENRE de travail.	POIDS d'anthracite fourni par un ouvrier en un jour.	NOMBRE de panières fourni par un ouvrier en un jour.
			kilog.	
8 — 10 mètres.	Inférieure à 45°.	Traçage....	900	6,00
	Idem.	Dépilage...	2.150	14,33
	Supérieure à 45°.	Traçage....	950	6,33
	Idem.	Dépilage...	1.800	12,00
$2^m,50$	Inférieure à 45°.	Traçage....	950	6,33
	Idem.	Dépilage...	2.550	17,00
	Supérieure à 45°.	Traçage....	1.200	8.00
	Idem.	Dépilage...	1.650	11,00
1 mètre.	Inférieure à 45°.	Traçage....	900	6,00
	Idem.	Dépilage...	2.000	13,33
	Supérieure à 45°.	Traçage....	1.000	6,66
	Idem.	Dépilage...	1.500	10,00

Trainage. — La panière est en osier, armée de patins ferrés en dessous pour faciliter le glissement. Elle pèse 34-35 kilog. et a un anneau à chaque extrémité. L'ouvrier traîneur y passe un crochet fixé à une large courroie de cuir mise en travers sur sa poitrine. L'effort à développer est assez considérable pour le traînage d'une panière pleine, dans une galerie d'étage. Dans les diagonales, au contraire, l'effort du traîneur consiste plutôt à retenir la panière qu'à la faire avancer. Ces traîneurs sont ordi-

nairement des jeunes hommes robustes. Ils travaillent en commun, ils sont payés à la panière à raison de 0f,08-0f,12. Un traîneur transporte dans sa journée, à 100 mèt. 5.611k,31 d'anthracite, dont 1.763k,22 dans les galeries d'étage et 3.898k,09 dans les diagonales.

Roulage. — Les panières, amenées par les traîneurs à un chargeoir, sont placées sur des trucs pouvant recevoir cinq panières. Ces trucs sont formés d'une plateforme de 2 mètres de long sur 0,70 de large, supportée par 2 essieux mobiles dans des coussinets en cuivre jaune. Les fusées d'un même essieu s'engagent, l'une dans une roue fixe, l'autre dans une roue folle. La distance des essieux est de 1m,24, le diamètre des roues à la jante est de 0,40.

Poids du truc.	210 — 220 kilog.
Poids utile.	750 kilog.
Poids des cinq panières.	170 kilog.
Poids mort.	215 + 170 = 385 kilog.

Un rouleur produit en 9 heures un travail utile de 5.118.802 kilomètres ou 51.188k,02 transportés à 100 mètres. Il a de plus à effectuer le chargement et le déchargement du chariot porteur.

Les voies de roulage sont généralement bien entretenues et leur longueur varie de 200 à 700 mètres.

Les rouleurs sont payés à la panière à raison de 0f,10 ; ce sont ordinairement des gamins que l'on emploie à cet ouvrage.

Le chargement arrivé à la sortie de la galerie, ils déchargent les panières, et un autre gamin, placé à la tête du plan, les charge sur le truc du plan et les enchaîne ; un receveur placé au bas les défait et décharge. D'autres rouleurs viennent le prendre pour les mener en divers points.

Boisage. — Les bois employés sont les essences suivantes : l'acacia, le chêne et le frêne.

La distance des cadres dépend de la poussée du terrain.

Dans l'intervalle d'un cadre à un autre, le terrain est soutenu, quand il y a nécessité, par des bois de garnissage, ordinairement des dosses, que les ouvriers appellent écoins. Parfois dans les terrains sujets à des enfoncements, on met des semelles aux cadres, et si le terrain manque complétement de consistance, on place d'abord un lit de dosses, puis la semelle est mise transversalement sur les dosses. On remplit les petites cloches formées, derrière un cadre, par des fascines. Dans un terrain ébouleux on enfonce à coups de masse les bois de garnissage qui s'appuient sur le pourtour du premier cadre; ce sont des dosses de $1^m,20$ à $1^m,50$ de longueur.

C'est le piqueur lui-même qui place les cadres; il n'y a de boiseurs spéciaux que pour les réparations. Ces ouvriers sont alors payés à raison de $0^f,60$ à $1^f,50$ le cadre, suivant la difficulté du travail.

Muraillement. — Le muraillement avec sable et mortier est préférable au boisage toutes les fois que la galerie dont on veut soutenir les parois doit avoir une longue durée, et qu'on peut se procurer, sans de trop grandes dépenses, les matériaux nécessaires; Les grès de la mine sont très bons pour cela. Aussi toutes les galeries au jour sont-elles muraillées en forme de voûte cintrée avec rigole latérale.

Triage. — Le triage est très succinct: Les panières sont versées sur des cribles, formés de tôles inclinées et percés de trous pour les menus. Des trieuses placées sur les côtés, ainsi que des enfants, font un triage soigné, grâce au système de payement. Ils touchent $1^f,50$ par tonne; $0^f,40$ par 100 kilog. de rocher, et $0^f,50$ par panier de crasseux.

Le charbon est ensuite versé dans des wagons de déchargement ayant un fond incliné à 35° et formés par une plaque de tôle. Ils se composent d'une carcasse en fer recouverte en bois, pour les rendre plus légers.

Poids mort = 650 kilog. Poids utile = 1 tonne.

Le charbon est rendu ensuite sur les divers quais servant, les uns à la vente au comptant, les autres pour le chargement des charrettes qui doivent les transporter à Saint-Georges et à Grenoble.

Nombre des ouvriers.

Intérieur.	Maîtres-mineurs	6
	Receveurs	6
	Mineurs	240
	Rouleurs	60
	Gamins	15
	Total	327

Le nombre des chevaux, chargés du transport à Saint-Georges, est de 35 appartenant à la compagnie, et 100 aux entrepreneurs.

Salaire des ouvriers.

Maître-mineur (par mois)	115 fr. avec logement.
Receveur (par mois)	80 fr. —
Mineur (par jour)	3 — 4 fr.
Rouleur	2 — 3 fr.
Gamin	1,50 — 2 fr.

L'entrepreneur reçoit 5 francs par tonne de charbon transportée de la mine aux magasins de Saint-Georges; le chargement et le déchargement sont au compte de la compagnie, qui fait peser la voiture au départ et à l'arrivée pour éviter les fraudes.

Prix de revient. — L'anthracite contient, en moyenne, 9 p. 100 de carbone pur. Il revient sur le carreau de la mine à $9^f,10$ la tonne.

On le vend : sur le carreau, aux magasins de Saint-Georges, du Comiers et de Grenoble.

NOTE

SUR

DEUX VARIÉTÉS DE DIADOCHITE (PHOSPHO-SULFATE DE FER) TROUVÉES DANS LA MINE D'ANTHRACITE DE PEYCHAGNARD (ISÈRE)

Par M. AD. CARNOT, ingénieur des mines.

Je dois à l'obligeance de M. Küss, ingénieur des mines à Grenoble, et à celle de M. Étienne Rolland, administrateur de la compagnie des mines de la Mure, quelques échantillons curieux de phospho-sulfate de fer (*diadochite*) recueillis dans la mine d'anthracite de Peychagnard (Isère) (*).

Quelques-uns de ces échantillons sont d'un rouge brun, transparents, à cassure conchoïdale et vitreuse, à éclat vif; leur aspect rappelle absolument celui de certaines résines. D'autres sont d'un blanc jaunâtre, complètement opaques, à cassure terreuse et sans éclat, comparables à de la craie faiblement colorée en jaune. Enfin certains morceaux présentent des caractères intermédiaires et possèdent un aspect cireux et une couleur un peu brunâtre. Mais souvent aussi les deux variétés extrêmes coexistent sur un même échantillon; elles se pénètrent sous forme de veines minces, très nettement délimitées, qui semblent marquer des zones d'accroissement successif.

On aurait pu présumer que ces variétés, si dissemblables, quoique formées dans des conditions probablement presque identiques, présenteraient des compositions assez différentes; mais il n'en est rien. L'analyse m'a donné les résultats suivants :

(*) Les plus beaux de ces échantillons ont été donnés à la collection minéralogique de l'École des mines et à celle du Muséum d'histoire naturelle.

	Diadochite brune, vitreuse.		Diadochite blanchâtre, terreuse.
Peroxyde de fer.	36,63	. . . .	36,60
Acide phosphorique.	16,70	. . . .	17,17
Acide arsénique.	0,45	. . . .	—
Acide sulfurique.	13,37	. . . .	13,65
Eau.	32,43	. . . .	32,20
Chaux	0,30	. . . .	0,15
Magnésie.	traces	. . . .	traces
Matières organiques.	—	. . . .	traces
	99,88		99,77

La composition est donc presque absolument la même pour les deux variétés. Les seules différences qui méritent d'être signalées sont, d'une part, la présence dans la variété vitreuse seule d'une très faible quantité d'acide arsénique, et, d'autre part, dans la variété terreuse, la présence de traces de matières organiques, qui ne se retrouvent pas dans la substance vitreuse.

Le poids spécifique est un peu différent :

$d = 2,22$ pour la variété vitreuse,

$d = 2,10$ pour la variété terreuse.

L'une et l'autre sont d'ailleurs extrêmement fragiles et se brisent entre les doigts avec la plus grande facilité. Elles ne présentent aucune sorte de cristallinité.

Placée dans l'eau froide, la matière se fendille, éclate et se divise en un très grand nombre de petits fragments, qui conservent d'ailleurs l'aspect primitif et ne s'hydratent pas. Par calcination, elle donne de l'eau et de l'acide sulfurique et se transforme en une matière rouge et opaque, nullement fondue; mais, chauffée au contact du charbon, elle fond assez facilement en un globule noir, magnétique. Elle se dissout très aisément et sans effervescence dans l'acide chlorhydrique étendu; saturée par l'ammoniaque, la dissolution donne un précipité blanc jaunâtre. L'acide sulfurique concentré prend, avec la variété opaque seule,

une coloration noirâtre, qui témoigne de la présence d'un peu de matière organique.

Berthier a donné, en 1838, dans les *Annales des mines*, la description et l'analyse d'un phospho-sulfate de fer trouvé dans la mine de Huelgoat sur les poteaux des galeries. Les caractères qu'il indique rappellent ceux de la variété vitreuse, dont il vient d'être question. La composition est presque absolument la même :

Peroxyde de fer.	38,5
Acide phosphorique.	17,0
Acide antimonieux.	0,5
Acide sulfurique.	13,8
Eau (*par différence*).	30,2
	100,0

Il est remarquable de trouver une composition à très peu près identique à des échantillons aussi différents, soit d'aspect, soit d'origine, et on peut se trouver par là suffisamment fondé à attribuer au minéral, malgré l'absence complète de cristallisation, une formule chimique bien définie, qui serait la suivante :



$$Fe^2O^3,\ PhO^5 + Fe^2O^3,\ 3/2\ SO^3 + 15HO.$$

Dufrénoy fait observer que, dans la mine de Huelgoat, on trouve en assez grande abondance des pyrites de fer et du phosphate de plomb, ce qui permet de se rendre compte de la formation du minéral analysé par Berthier. — On peut également bien expliquer celle de la diadochite de Peychagnard par les circonstances de son gisement, sur lequel M. Ét. Rolland a bien voulu me donner des renseignements précis.

Le terrain anthracifère de Peychagnard se trouve à une altitude de 1.500 mètres ; les couches d'anthracite et celles de grès et de schistes, qui les séparent, ont été plissées et disloquées par des failles nombreuses. Sur la tranche de

ces couches, redressées presque verticalement, on observe des bancs à peu près horizontaux, appartenant à la formation du lias : 1° une couche de 1 à 3 mètres de grès infraliasique, avec noyaux anguleux de quartz, ciment argileux et pyrites de fer en abondance ; 2° au-dessus, des bancs de calcaire grenu, avec nombreuses coquilles, représentant l'étage inférieur du lias, dont l'épaisseur peut être évaluée à une trentaine de mètres ; 3° enfin, plus haut, les schistes noirs à Posidonies de l'étage moyen du lias.

En exploitant l'une des couches d'anthracite, de 2 mètres de puissance, et arrivant près des affleurements, on a rencontré, parmi d'anciens travaux remontant à une centaine d'années, un vide de 6 mètres de haut sur 8 mètres de long, dans lequel la température s'élevait à 40° environ. Sur le sol et sur l'une des parois de cette excavation se trouvent des croûtes brillantes de phospho-sulfate de fer, qui ont 0m,10 et 0m,15 d'épaisseur.

Ce minéral est donc certainement produit par l'évaporation des eaux qui ont filtré à travers les couches du lias et les déblais échauffés d'anthracite. Ces eaux empruntent sans doute aux pyrites de fer en décomposition et au calcaire coquillier l'oxyde de fer, l'acide sulfurique et l'acide phosphorique, qu'elles viennent déposer plus loin sous forme de concrétions de diadochite.

MISSION TRANS-SAHARIENNE

DE

LAGHOUAT — EL GOLÉAH — OUARGLA — BISKRA (*)

GÉOLOGIE ET HYDROLOGIE

Par M. G. ROLLAND, ingénieur des mines.

(Note tirée du rapport provisoire, adressé à la date du 10 juin 1880, par M. Choisy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à M. le Ministre des travaux publics.)

I. — GÉOLOGIE.

La géologie permet d'esquisser avec une grande simplicité les traits généraux de l'orographie du Sahara septentrional, au sud de l'Algérie et de la Tunisie et dans la Tripolitaine, jusqu'au 28ème degré de latitude environ.

Contrairement aux idées qui ont cours, le Sahara septentrional est généralement rocheux et parfois accidenté. Le terrain crétacé y constitue des plateaux élevés, ou *hamada*, en calcaire dur, souvent dolomitique, poli par les sables, sans terre végétale, sans eau, stérile, désolé, s'étendant sur des espaces immenses et offrant le vrai facies du désert. Les couches sont horizontales à l'œil ou faiblement inclinées; elles présentent en grand de larges plissements accompagnés de fractures, et en détail une série de bossel-

(*) La mission se composait de :
M. Choisy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chef de mission; MM. Barois, ingénieur des ponts et chaussées, et Rolland, ingénieur des mines; M. le docteur H. Weisgerber; M. Jourdan, garde-mines, et MM. Descamps et Pech, chefs de section au cadre auxiliaire des chemins de fer de l'État.
La direction de la caravane était confiée à M. le lieutenant Massoutier.

lements sans loi. Certaines régions, désignées sous le nom caractéristique de *chebka*, sont découpées par des réseaux de vallées plus ou moins enchevêtrées.

Aucun terrain postérieur au crétacé n'apparaît jusqu'au quaternaire, qui occupe dans le Sahara septentrional des étendues comparables. Les dépressions formées par les grandes ondulations du crétacé ont été en partie comblées, à l'époque quaternaire, par de vastes dépôts d'atterrissement gréseux et sablo-limoneux, qui ont atteint des puissances inusitées, et ont été eux-mêmes l'objet d'érosions profondes, accompagnées d'alluvions récentes dans les fonds. Une croûte contrétionnée, calcaire et parfois gypseuse, recouvre fréquemment le quarternaire et le crétacé. Les alluvions récentes sont en limon, sables et graviers plus ou moins agglutinés par un ciment gypso-calcaire, de cohésion faible et parfois presque nulle. L'affleurement de nappes aquifères dans certaines dépressions, donne lieu accidentellement aux *sebkha* (bas-fonds salés) et aux *chotts* (étangs salés).

Quant aux dunes de sables, ou *areg*, elles ne sont qu'en sous-ordre au Sahara, dans la zone septentrionale duquel elles forment cependant des accumulations considérables. Elles me paraissent dues à la désagrégation des grès, limons et sables gypso-calcaires, sous les influences climatériques du désert; le vent opère le triage des éléments désagrégés et, dans certaines limites, le charriage des grains de quartz résultants. Cette action continue de nos jours. Les massifs et les chaînes de dunes semblent fixes dans leur ensemble, et leur topographie ne varie guère dans la durée d'une génération; la couverte sableuse seule est mobile sous l'action des vents.

§ 1er.

M. Choisy était chargé d'étudier et de comparer un tracé de chemin de fer de Laghouat à El Goleah, au sud de la

province d'Alger, et un tracé de Biskra à Ouargla, au sud de la province de Constantine.

L'itinéraire de sa mission peut se décomposer ainsi : (voir la *fig.* 1, Pl. VI) (*).

	LONGUEURS en chiffres ronds.	DIRECTIONS approximatives
	kilom.	
De Laghouat à El Goleah : étude d'un tracé de chemin de fer.	450	NS
Au Sud d'El Goleah : reconnaissance du passage des grandes dunes (aller et retour).	80	NS
D'El Goleah à Ouargla.	350	SW-NE
D'Ouargla à Biskra : étude d'un tracé de chemin de fer.	370	SN

Partie le 17 janvier 1880 de Laghouat, la mission arrivait à Biskra le 16 avril, après avoir exploré 1.250 kilomètres.

De Laghouat (altitude approchée, 795 mètres) vers le sud, nous nous sommes d'abord élevés jusqu'au point culminant du Ras Cha'ab (850 mètres), appartenant à la chaîne très surbaissée et sensiblement parallèle à l'Atlas qui forme la limite méridionale du bassin de l'Oued Djedi (*oued*, cours d'eau, vallée avec ou sans thalweg, dépression allongée), tributaire du Chott Melrhir. Du Ras Cha'ab à El Goleah, nous sommes descendu constamment et avons longé la ligne de faîte nord-sud, si importante au point de vue du régime des eaux du Sahara algérien, qui sépare le bassin oriental de l'Oued Rhir, s'écoulant au nord vers le Chott Melrhir, du bassin occidental de l'Oued Guir, s'écoulant au sud vers les bas-fonds du Touat et sans doute vers le bassin du Niger.

Après avoir traversé la région bien connue des daya (*daya*, dépression fermée et humide), au sud de Laghouat,

(*) Cette figure est une réduction de la carte provisoire annexée au rapport sommaire du 10 juin 1880.

nous sommes arrivés insensiblement un peu au delà de Zebbacha, sur le plateau du Mzab et de Metlili, qui offre une reproduction à petite échelle des grandes hamada crétacées du désert. Notre itinéraire nous a permis de l'explorer à l'ouest et au sud de la région déjà étudiée et décrite par M. Ville. Nous avons constaté qu'il se poursuivait vers le sud, plus ou moins semblable, jusqu'à El Goleah.

Du Mzab à El Goleah, la hamada calcaire est en pente vers le sud-est; elle est découpée par le réseau des vallées de la Chebka, se rendant, également vers le sud-est, à l'Oued Mya.

Vers l'ouest du Mzab et de Metlili, le plateau, après s'être relevé d'une manière continue, se termine brusquement par un escarpement gigantesque pour la contrée et dominant l'Oued Loua. Cette ligne saillante, également remarquable aux points de vue topographique et géologique, prend naissance à une journée de marche environ au sud de Zebbacha et se poursuit, plus ou moins sinueuse, sur plus de 100 kilomètres vers le sud. L'El Loua a été reconnue par une pointe hardie à la hauteur de Metlili. Le spectacle en ce point est saisissant : d'un côté l'escarpement crétacé au profil accusé, sur les flancs duquel s'étagent une série de terrasses d'alluvion; au pied, à 200 mètres environ en contre-bas de la crête, le bas-fond d'El Loua; de l'autre côté, dissymétrie complète, l'embouchure du Mehaiguen et, à perte de vue, l'immense plaine d'atterrissement, qui s'élève jusqu'au pied de l'Atlas Oranais. L'Oued Loua est en pente vers le sud et aboutit à Dayet Tarfa.

La hamada offre, entre l'escarpement limite d'El Loua, à l'ouest, et la tête des vallées de la Chebka, à l'est, une bande continue et plane, sur laquelle nous avons cheminé.

Une échancrure ouvre le plateau entre Dayet Tarfa et Dayet El Aref; dans cette région, la Chebka se prolonge davantage vers l'ouest. Nous avons dû nous y engager à partir d'El

Hassi (*), et avons réussi, au milieu de ce réseau de découpures, à trouver un tracé en vallée satisfaisant.

Cependant, le plateau continuant à pencher vers le sud, et sa pente étant supérieure à celle de l'Oued Teguir, que nous suivions, l'encaissement de cette vallée diminua jusqu'à devenir presque nul. Nous en sortîmes et repassâmes sur le plateau, que nous ne quittâmes plus jusqu'à El Goleah. Nous eûmes à couper quelques lits d'oued peu profonds, dirigés vers le sud-est, qui entaillent la hamada, et entre lesquels des séries de monticules superposés ou de gour (*gara*, pluriel *gour*, témoin d'érosion, à tête plate) dessinent des crêtes discontinues. Enfin, nous ne pûmes éviter la traversée de quelques traînées de sables, peu importantes aux cols choisis pour le passage de la ligne; elles sont fixes en plan, et leur dépôt est en relation avec les accidents topographiques.

Entre Dayet Tarfa et El Goleah, sur 150 kilomètres environ, le plateau n'est plus limité par un escarpement comme à l'El Loua. Il plonge d'une part à l'est, d'autre part à l'ouest; de ce côté, il disparaît bientôt sous les grands Areg. Une série de chaînes de dunes secondaires se détache du massif principal des Areg vers le nord-est et s'avance jusqu'aux embouchures des Oued Zergoun et Mehaiguen, jusqu'auprès des Daya Et Tarfa et Bou Fakroun, jusqu'à Hassi Zirara, etc. C'est pour éviter les queues de ces mêmes chaînes que l'itinéraire a dû être reporté suffisamment vers l'est.

A El Goleah, le plateau se termine de nouveau à l'ouest par un escarpement, qui sort des Areg au débouché de

(*) M. Jourdan et moi avons découvert à El Hassi un gisement de silex incontestablement taillés de main d'homme, recouverts par un dépôt récent de sources calcaires, aujourd'hui disparues. Ce fait vient s'ajouter à d'autres tendant à prouver que le Sahara, depuis qu'il est habité par l'homme, est de plus en plus privé d'eau, et, par suite, de plus en plus désert.

l'Oued Seggueur, et continue au loin vers le sud-ouest. La sebkha et l'oasis d'El Goleah forment une bande étroite entre l'escarpement, haut de 72 mètres, et le massif des dunes (altitude approchée de l'oasis, 385 mètres).

Nous avons poussé à une journée au sud d'El Goleah, afin de reconnaître le rétrécissement des grandes dunes découvert par M. Soleillet. Ce fait géographique des plus intéressants a été vérifié : les sables qui forment une ceinture continue au sud du Sahara algérien et présentent à l'ouest et à l'est des massifs énormes, se réduisent en ce point à une chaîne insignifiante, n'ayant pas 1.500 mètres de largeur.

A ce passage, j'ai vu, du sommet du piton de sable du Guern el Chouff, le plateau se continuer au loin sans dune et une série étagée d'escarpements se profiler à l'horizon. Cette région de hamada se relève vers le sud; elle est découpée par les vallées de tête de l'Oued Mya; elle s'accidente aux abords d'In Salah, et s'y termine par un escarpement regardant le sud.

Entre El Goleah et Ouargla, l'itinéraire adopté par M. Choisy diffère de ceux qui ont été suivis en 1873, à l'aller et au retour, par la colonne du général de Gallifet. Il recoupe les mêmes vallées et les mêmes chaînes de dunes en des points situés plus au sud.

A l'est d'El Goleah, la plateau calcaire offre quelques découpures, des lignes de gour et une région au relief ondulé par suite du plissement des couches; puis il est recouvert par les grès du bassin quaternaire de l'Oued Rhir. Les érosions des vallées l'ont cependant remis a nu; ainsi nous l'avons vu reparaître sur la rive gauche de l'Oued Mya, près d'Hassi el Aicha.

L'Oued Mya est une large vallée d'érosion, comblée par des alluvions récentes de sable et de gravier fin, avec ciment

gypso-calcaire; vallée sèche et sans thalweg accusé, en pente générale vers Ouargla. A partir du point où nous l'avons suivie, elle est entièrement creusée dans les atterrissements. Elle est limitée à l'ouest par un escarpement discontinu, mais très net, qui domine successivement Hassi el Hadjar, Ouargla, Negousa; plus au nord, c'est le même escarpement qui reparaît en face de Temassin et se poursuit jusqu'à Oum et Thiour, où il tourne à l'est vers le chott Melrhir. A l'est, au contraire, nous n'avons observé, entre l'Oued Mya et l'Oued Igharghar, que des séries de gour isolés, émergeant du sein des alluvions récentes. Nous étions, en effet, près du confluent des deux vallées. L'Oued Igharghar est une vallée d'érosion du même ordre, en pente générale vers Tougourt.

La dépression de l'Oued Rhir n'est autre chose que la prolongation de l'Oued Mya et de l'Oued Igharghar réunis, jusqu'au chott Melrhir. Ainsi que je l'ai dit, l'escarpement qui forme la ceinture occidentale de l'Oued Rhir est nettement la prolongation de la rive gauche de l'Oued Mya; au-dessus, se trouve la surface du manteau d'atterrissement, qui monte en pente douce vers l'ouest et vient s'appuyer sur le plateau calcaire du Mzab et de Metlili. A l'est, les faits topographiques et géologiques doivent être analogues, mais sont masqués par les grandes dunes du Souf.

Enfin les alluvions récentes, qui garnissent les vallées et les dépressions, offrent elles-mêmes des bas-fonds argilo-gypseux et salés, où se trouvent les sebkha et les chotts. Tels sont les bas-fonds d'Hassi el Hadjar, d'Ouargla et de Negousa, et la série des bas-fonds de l'Oued Rhir, depuis Blidet Amar jusqu'au chott Melrhir. Des monticules parsèment les régions de sebkha : ils sont dus les uns à des érosions, les autres au foisonnement des terrains gypseux.

D'Ouargla (environ 154 mètres), nous nous sommes dirigés directement sur Blidet Amar, laissant à l'ouest les dunes

de Negousa, et traversant une région mixte, en alluvions récentes, avec bas-fonds peu nets et petites sebkha, où le sol est formé de sables en place, à peine agglutinés, mais non mouvants. L'établissement d'un chemin de fer nécessiterait dans cette région une quarantaine de kilomètres de remblais, ayant au plus 5 à 6 mètres de hauteur et pouvant être fixés par la végétation.

A partir de Blidet Amar, nous avons suivi les bas-fonds de l'Oued Rhir et la ligne bien connue des oasis, Tougourt (environ 90 mètres), Ourlana, etc. Le sol est formé par un limon gypseux et salé, plus ou moins boursouflé; il est absolument plat. On n'aurait qu'à poser la voie.

Il y a pente générale vers le chott Melrhir, situé au-dessous du niveau de la mer, à la cote — 27. Le tracé passe à l'ouest du chott, au-dessus de la cote zéro, s'élève sur le plateau quaternaire à Oum el Thiour, traverse l'Oued Itel et l'Oued Djedi, et remonte la plaine limoneuse d'alluvion moderne, qui s'étend en pente douce jusqu'à Biskra (123 mèt.).

Le chott Melrhir est le fond de ce grand bassin. Il reçoit les détritus d'une partie de l'Atlas par l'Oued Djedi, au nord-ouest, et par la série des vallées, telles que l'Oued Biskra, l'Oued el Arab, etc., au nord. Le chott Melrhir se continue vers l'est par les chotts Rarsa et Djerid. Le seuil qui sépare les deux premiers dépasse un peu la cote zéro; le suivant a 40 mètres d'altitude; la barre qui sépare le dernier du golfe de Gabès a 50 métres aux points les plus déprimés.

§ 2.

Je résumerai brièvement les premiers résultats de mes travaux géologiques sur le terrain crétacé du Sahara septentrional entre Laghouat, El Goleah et Ouargla.

Le plateau crétacé du Mzab se prolonge vers le sud jusqu'au delà de Goleah. D'après les renseignements recueillis par M. Pomel, les caractères changeraient bientôt entre Go-

leah et In Salah : le calcaire crétacé serait remplacé par le grès dévonien, qui constituerait le plateau de Tademayt et le Djebel Tidikelt (*djebel*, chaîne de montagnes).

J'ai été amené, par les observations indiquées sommairement plus haut, à admettre que les couches crétacées figurent au centre du Sahara algérien un grand bombement, dont l'axe est environ N. S. et plonge au sud. Au sud, entre El Goleah et Dayet Tarfa, sur environ 150 kilomètres, ce bombement apparaît à nu; Dayet Bou Fakroun, à la clef de voûte, est une cassure entr'ouverte. Au nord, suivant l'El Loua, se trouve une cassure analogue, beaucoup plus grande, longue d'une centaine de kilomètres, mais dont le bord occidental n'apparaît pas; peut-être y a-t-il faille.

La crête du bombement n'est autre que le faîte de séparation déjà mentionné entre le bassin de l'Oued Rhir et le bassin de l'Oued Guir. Cette ligne de démarcation se continue vers le sud; l'escarpement d'El Goleah prolongé se relie par une courbe tournant sa convexité vers l'ouest, à l'escarpement d'In Salah. Au pied, se trouvent les bas-fonds du Gourara, du Touat et du Tidikelt; au-dessus, le bassin supérieur de l'Oued Mya s'écoule vers le nord-est.

A l'est du bombement, le crétacé plonge sous les atterrissements quaternaires de l'Oued Rhir, puis, réapparaissant au delà des dunes du Souf, constitue les immenses hamada du sud de la Tunisie et de la Tripolitaine, jusqu'à la grande Syrte. Au sud de Ouargla, le crétacé ressort également à El Bijod, avec un plongement vers le nord. Les couches tournent graduellement, de manière à dessiner, dans l'est du Sahara algérien, une grande cuvette, qui emboîte le bassin quaternaire de l'Oued Rhir, de Ouargla et de l'Oued Souf.

A l'ouest du même bombement, le crétacé s'infléchit également sous les atterrissements, et se retrouve à la surface des hamada, au sud de l'Atlas marocain, entre l'Oued Namous et l'Oued Guir.

Le crétacé repose directement sur le dévonien dans le

Sahara septentrional. Le contact affleure, à l'ouest, aux environs de Djörf et Torba (près de l'Oued Guir) (*); il apparaît, au sud, entre Goleah et In Salah, à Timassinin, le long du bord méridional de la hamada El Homra, etc.

D'après mes relevés stratigraphiques, les couches crétacées du Sahara algérien appartiennent à un système unique, et les coupes d'El Loua, du Mzab et d'El Goleah sont équivalentes. Les considérations paléontologiques confirment cette conclusion. Le crétacé du Sahara est généralement très pauvre en fossiles. Cependant j'ai été assez heureux pour découvrir, à El Goleah et dans les régions voisines, des gisements abondants de fossiles, dont une partie déterminable et caractéristique, permettant de fixer nettement l'âge géologique du terrain.

Ils ont été soumis à MM. Bayle et Douvillé, ainsi qu'à MM. Cotteau et Péron. De ce premier examen ressort une correspondance intéressante entre la faune d'El Goleah et la faune des étages cénomanien et turonien du sud de Bou Saada, de Batna, etc. L'escarpement et les gours d'El Goleah comprennent une corniche calcaire de 12 mètres et un talus marneux de 60 mètres; dans les calcaires supérieurs, j'ai trouvé l'*Ostrea flabellata*, l'*Ostrea africana*, le *Rhabdocidaris Pouyannei*, la *Janira œquicostata*, le *Strombus Mermeti*, etc. Le plateau qui couronne l'escarpement est en calcaire dur et poli; j'y ai recueilli un *Sphœrulite* et des *Ammonites*. Les gour Ouargla, à une journée au nord-est d'El Goleah, reposent sur ce plateau; ils sont calcaires et ont 60 mètres; ils possèdent un niveau à *Cyphosoma*, *Sphœrulites syriacus*, etc. A deux journées au sud-est d'El Goleah, à Mechgarden, le même plateau offre une découpure de 35 mètres, où les marnes dominent, et où j'ai trouvé l'*He-*

(*) Plus à l'ouest, il est probable, d'après M. Pomel, que le crétacé reparaît et constitue le pays appelé Chebka, entre l'Oued Drah et l'Oued Noun, près de l'Océan atlantique.

miaster Pseudofourneli, l'*H. Zitteli*, la *Plicatula auressensis*, une *Ostrea* sans doute nouvelle, etc. Les bancs calcaires supérieurs renferment des *Sphærulites*, etc.

Ainsi les escarpements d'El Goleah et de Mechgarden sont cénomaniens; le plateau supérieur, ainsi que les gours Ouargla et autres gours superposés, sont turoniens. Au Mzab, mêmes étages : M. Thomas a découvert dans les calcaires marneux inférieurs des fossiles cénomaniens; M. Durand a trouvé des rudistes à la base des calcaires dolomitiques du plateau.

Le crétacé du Sahara algérien n'offre donc qu'un seul système de couches, dont le turonien forme, pour ainsi dire, l'ossature. La croûte calcaire supérieure, qui constitue le sol des hamada, est turonienne. Les marnes et calcaires marneux sous-jacents, qui constituent la plupart des escarpements, sont cénomaniens.

Cette conclusion peut être étendue à tout le crétacé du Sahara septentrional. A l'ouest, près de Djörf et Torba, la colonne du général de Wimpfen a trouvé, au contact même du dévonien, le niveau caractérisé par le *Rhabdocidaris Pouyannei*, que M. Pouyanne a découvert au sud de Moghar, vers le Chebket El Beïda.

Au sud, sur l'escarpement de Temassinin, M. Roche a recueilli l'*Ostrea flabellata* et l'*Heterodiadema lybicum*. Les fossiles rapportés de la région de l'est, par Barth, Overweg, Bou Derba, Bussetil, Duveyrier, Vatonne, indiquent, d'après M. Pomel, « l'étage de la craie chloritée et un horizon un peu plus élevé paraissant représenter la craie tuffeau et la craie des Charentes. »

J'ai tracé le contour du terrain crétacé sur la carte provisoire de notre mission (*fig.* 1, Pl. VI) : ce contour résulte des travaux de M. Ville, qui a suivi l'itinéraire Ouargla, Guerrara, Metlili, Berrian, Laghouat; de renseignements dus à l'obligeance de M. Tissot sur la région de Dzioua et d'El Mengoub, au nord-est du Mzab; enfin de

notre exploration à l'ouest et au sud du Mzab et de Metlili.

L'exposé et la discussion de mes observations sur le bassin quaternaire de l'Oued Rhir, de Ouargla et du Souf m'entraîneraient dans des développements qui dépasseraient le cadre d'un rapport provisoire. Je me limiterai à quelques considérations sommaires.

Les terrains d'atterrissement anciens sont grossièrement, mais régulièrement stratifiés; ils doivent avoir été déposés sous des eaux relativement tranquilles. Les alluvions récentes ont une allure plus ou moins lenticulaires, et offrent parfois une stratification torrentielle.

L'existence à l'époque quaternaire d'un grand lac saumâtre dans cette région du Sahara oriental me semble probable, ainsi qu'à M. H. Le Châtelier. La partie méridionale de ce bassin a sans doute subi, à un époque géologique récente, un exhaussement lent d'une certaine importance.

L'hypothèse d'une ancienne communication de la mer intérieure du Sahara avec la Méditerranée paraît devoir être définitivement abandonnée. La barre de Gabès n'a dévoilé à M. Fuchs aucune trace de bras de mer qui aurait disparu à la suite de soulèvements récents. M. Pomel croit plutôt à un affaissement dans le golfe de la petite Syrte. Il a constaté que le terrain crétacé encadrait et modelait le seuil de Gabès, mais que celui-ci était en réalité formé par un dépôt d'atterrissement quaternaire. Ce géologue écarte aussi bien l'idée de la Méditerranée pénétrant à l'époque quaternaire dans la région des chotts, que celle d'un cours d'eau servant d'exutoire au bassin des chotts, qui était alors certainement fermé.

M. Pomel a insisté avec une grande force sur l'absence de coquilles marines dans ce prétendu golfe méditerranéen. Quelques-unes, il est vrai, ont été trouvées; mais, d'après M. Tournouër, celles qui sont en place doivent avoir été remaniées et emballées dans un dépôt diluvien d'origine

continentale, et celles qui sont à la surface du sol doivent être attribuées au fait de l'homme.

Quand au *Cardium edule*, que l'on trouve en abondance dans cette région, associé à des coquilles d'eau douce, il prouve simplement, ainsi que l'a démontré M. Tournoüer, l'existence de lagunes saumâtres. Les eaux de l'ancien lac auraient été douces d'abord, saumâtres ensuite, puis surchargées de sel et impropres à la vie animale. Je signalerai au pied du mamelon de Tamerna Djedida une marne d'eau douce avec *Lymnées*, *Hydrobies*, *Mélanies*, etc.

II. — HYDROLOGIE.

Nulle part l'étude des eaux n'est aussi vitale que dans le Sahara. Le désert résulte d'un état climatérique particulier et de l'absence presque complète de pluies. C'est des eaux souterraines que dépendent entièrement les faibles ressources de cette région et l'avenir de certaines zones relativement plus favorisées.

§ 1er.

La crête saillante suivie par le tracé de Laghouat à El Goleah est déshéritée sous le rapport des eaux. Je ne crois pas à la possibilité d'obtenir sur cette ligne des eaux artésiennes par des sondages de profondeur modérée. Les puits indigènes qu'on rencontre sont alimentés par des nappes d'infiltration d'un faible débit.

La nature des eaux de cette région est de qualité médiocre, mais équivalente à la moyenne de celles qu'il est permis d'espérer dans le Sahara.

Je signalerai l'eau d'El Goleah qui, d'après l'analyse faite par le bureau d'essai de l'École des Mines, ne contient que 0gr,2377 de sels par litre; elle doit être considérée comme tout à fait exceptionnelle au désert.

Quant au bas-fonds de l'Oued Rhir, c'est une zone privilégiée du Sahara au point de vue des eaux, ainsi que le prouvent ses nombreux puits artésiens français et indigènes. Leur débit total atteint le chiffre de 178.000 litres par minute.

Je citerai quelques-uns des plus beaux puits français :

DÉSIGNATION des sondages.	PROFONDEUR totale des sondages.	DÉBIT TOTAL des nappes artésiennes captées.
	mètres.	litres par minute.
Ourir	79,29	4.000
Ourlana, Tala em Mouidi	77,30	5.000
Mazer, n° 3	80,35	5.000
Tiguedidine, n° 2	72,20	3.180
Djama, n° 1	63,20	4.600
Sidi Amram, n° 1	77,60	4.000
Tamerna Djedida, n° 1	60,00	4.000
Sidi Sliman, n° 1	74,96	4.000
Schmourra	77,00	4.000

L'étude du régime des eaux artésiennes de cette région m'a amené à admettre l'existence, d'une part, de nappes aquifères, aux allures variables, sur toute l'étendue du bassin quaternaire, d'autre part, de lignes d'eau principales et continues suivant certaines directions, dont une en particulier le long de l'Oued Rhir, et sans doute une autre transversale qui passerait par Ourlana.

La ligne d'eau de l'Oued Rhir peut être considérée comme reconnue depuis l'oasis d'Ourir, au sud-ouest du chott Melrhir, jusqu'au récent sondage de Schmourra, près de Tougourt, soit sur 120 kilomètres. Elle offre tout son développement à Ourlana, au croisement de la ligne transversale supposée. Sur toute cette longueur, des recherches suffisamment profondes me semblent appelées à fournir des eaux jaillissantes. Elles devraient être faites non aux oasis actuelles, dont certaines sont mal situées, et où des puits trop multipliés peuvent se nuire, mais en des points convenablement choisis, où se créeraient de nouveaux centres.

Plus au sud, vers l'Oued Mya et l'Oued Igharghar, il y a également des eaux artésiennes, mais les conditions sont de moins en moins favorables dans cette direction, à cause du relèvement des couches. A Ouargla, où l'on trouve de nombreux puits artésiens indigènes, les sondages sont assurés du succès.

A l'est, dans l'Oued Souf, on n'utilise qu'une nappe située à peu de profondeur, généralement dépourvue de force ascensionnelle.

Comment s'alimente le bassin artésien de l'Oued Rhir, de Ouargla et de l'Oued Souf? Il reçoit d'abord les crues annuelles des rivières, O. Djedi, O. Biskra, O. El Arab, etc., qui descendent des gorges de l'Atlas et se perdent au nord du chott Melrhir, ainsi qu'au sud les crues accidentelles de l'Oued Mya, puis les eaux qui s'écoulent souterrainement dans le lit des oued sans apparaître à la surface, ensuite les sources abondantes des Zibans à la lisière nord du Sahara. Ces eaux sont absorbées par les grès, limons et sables, forment des nappes dans le quaternaire, épousent les allures du terrain et se rassemblent dans les fonds.

Mais tous ces apports réunis semblent insuffisants à l'alimentation du grand bassin considéré. Le reste des eaux artésiennes, la majeure partie, selon moi, doit provenir des nappes aquifères circulant dans les couches crétacées qui forment la cuvette sous-jacente. Ces nappes ont leur origine aux affleurements des couches perméables dans le massif montagneux du nord, où il tombe chaque année une grande quantité de pluies (*). Ce sont elles qui filtrent dans

(*) Le climat saharien règne jusqu'à la limite méridionale du crétacé, et plus au sud sur la plus grande partie des plateaux dévoniens. Mais dans le massif élevé des Ahaggar, il y aurait des cours d'eau permanents; les rivières qui en descendent, telles que le haut Igharghar, ont souvent de l'eau. Les grès dévoniens de cette région plongent au nord. Ainsi on peut admettre que le massif montagneux du sud fournit un certain appoint au bassin artésien de l'Oued Rhir.

les puits du Mzab et des hauts plateaux crétacés du désert. Elles sont parfois considérables; dans les Zibans, le long du pied méridional de l'Atlas de Constantine, elles donnent lieu aux sources déjà citées et jaillissent soit par les affleurements des couches formant siphon, soit par des fractures résultant des soulèvements de la région. De même, dans le sud, sous le manteau d'atterrissement, elles jailliraient en profondeur selon certaines lignes : les eaux sous pression, s'épanouissant dans les formations alluvionnaires supérieures, s'élèveraient et se distribueraient suivant des nappes plus ou moins nettes, dont la largeur serait restreinte par rapport à la longueur. D'où un système de lignes d'eau correspondant sans doute à un système de lignes de fractures, et se trouvant en relation avec les directions de soulèvement.

La faculté des eaux artésiennes de remonter jusqu'au jour, naturellement ou par sondage, dépend de la pression hydrostatique, maxima vers les fonds de la cuvette crétacée, et de l'épaisseur des alluvions à traverser, minima dans les dépressions de la surface.

§ 2.

La région explorée de Laghouat à Goleah est dangereuse à cause du voisinage du Maroc, éminemment ingrate au point de vue des conditions naturelles, sans production autre que le bétail élevé par les tribus nomades. Le Mzab seul pourrait fournir un faible apport à un chemin de fer. El Goleah est une oasis sans importance et isolée de toutes parts.

Au contraire, la région que traverserait un chemin de fer de Biskra à Ouargla est habitée par une population sédentaire et paisible; elle possède actuellement des ressources réelles qui peuvent se développer dans l'avenir, et offre des éléments de trafic local capables de compenser,

au moins partiellement, les frais de construction et d'exploitation de la ligne.

Je dois à M. Jus, directeur des sondages artésiens de la division de Constantine, un état très détaillé des oasis, non seulement de l'Oued Rhir et d'Ouargla, que desservirait directement la ligne projetée, mais encore des régions avoisinantes, Souf, Mzab et Zibans, qui en seraient, dans une certaine mesure, tributaires. Les chiffres sont basés sur des statistiques officielles, qui indiquent un nombre de palmiers inférieur au chiffre réel, et sur les moyennes de production des mauvaises années. Le tableau suivant résume la production agricole annuelle :

		TONNES DE			TOTAUX.
		dattes.	orge.	blé.	
Ligne de Biskra à Ouargla.	Oued Rhir, depuis Ourir jusqu'à Temassin inclusivement.	8.000	1.200	»	9.200
	Région au sud de Temassin, jusqu'à Ouargla inclusivement	7.000	»	»	7.000
Régions avoisinantes.	Oued Souf.	3.000	»	»	3.000
	Mzab	1.000	»	»	1.000
	Zibans.	14.000	1.700	900	16.600
	Totaux.	33.000	2.900	900	36.800

Pour mémoire: blé, luzerne, garance, vigne, tabac, fruits et légumes.

J'ai cherché à me rendre compte du mouvement des échanges dans la région saharienne qui nous occupe, mais il est difficile de donner des chiffres précis à cet égard, ni de préjuger la répartition qui se ferait entre le chemin de fer, les caravanes et le commerce local.

Les Rouara sont des producteurs uniquement agricoles. On peut admettre qu'ils consomment un cinquième de leurs dattes. Ils échangent ou exportent le reste, ainsi que la plus grande partie de leur orge (qui est de qualité supé-

rieure) et se procurent en retour des grains, des cotonnades, de l'épicerie, du fer fabriqué, de la quincaillerie, etc. Ces échanges se font soit directement par Biskra, soit par l'intermédiaire des nomades ou des Beni Mzab. Tougourt a un marché, où les Beni Mzab se procurent de la garance, du tabac du Souf, qu'ils revendent aux Arabes, des burnous, des haïks fins venant du Djérid, etc.

Le commerce d'Ouargla est en grande partie entre les mains des Beni Mzab, qui y apportent les céréales, les articles de vêtements et autres, et y achètent des dattes, des tissus de laine, etc.

Le Souf est en relation directe avec la province de Constantine et la Tunisie ; mais le chemin de fer de l'Oued Rhir détournerait évidemment une partie de ce trafic à son profit.

Le Mzab ne peut suffire lui-même à la nourriture de ses habitants, dont un tiers environ émigre annuellement dans les villes du Tell. Les tissus de laine, confectionnés par les femmes, constituent la principale industrie du pays ; 300.000 toisons y sont importées annuellement ; les tissus sont échangés en pays arabe contre des grains, de la laine et des moutons, du beurre, etc. Les Beni Mzab, avant tout commerçants, sont depuis longtemps les intermédiaires du Sahara avec le Tell et la Tunisie. Nul doute que leur esprit industrieux ne se plie aux conditions nouvelles que le chemin de fer créerait au commerce du Sud.

Les Zibans, bien que situés près de la tête du transsaharien, ne peuvent être négligés dans cet aperçu des ressources du Sahara. Le principal article d'exportation, après les dattes, est fourni par les articles de laines, et notamment les tapis qui y sont confectionnés et représentent environ 3.000 tonnes annuellement.

De quel avenir ces contrées sont-elles susceptibles ?

Dans l'Oued Rhir, l'expérience indiquera jusqu'à quelle

limite on peut rapprocher les puits et augmenter le débit total; mais cette limite est loin d'être atteinte aujourd'hui.

Je signalerai une étendue d'environ 900 hectares entre Sidi Yaya et Tamerna et une autre au moins équivalente entre Sidi Amran et Sidi Sliman, où l'expérience de M. Jus lui permet d'affirmer la réussite des sondages. Dans cette région, on peut espérer des débits de 3.000 à 5.000 litres, comme aux environs d'Ourlana. Une surface de plus de 1.800 hectares, actuellement inculte, peut donc dès aujourd'hui être mise en valeur. En comptant 300 palmiers par hectare, on y planterait 540.000 plants de 3 ans, qui rapporteraient 12 kilog. par pied au bout de 5 ans, 15 kilog. au bout de 6 ans, et au moins autant pendant 100 ans: soit un surcroît de production annuelle de 8.100 tonnes de dattes. On peut en outre compter sur 1.200 tonnes d'orge à récolter sous les palmiers.

Je me crois donc autorisé à avancer que la production de l'Oued Rhir peut être tout au moins doublée et portée en chiffres ronds à un minimum de 20.000 tonnes.

Deux ateliers fonctionnent actuellement, en hiver, dans l'Oued Rhir, sous l'habile direction de M. Jus. Ils appartiennent aux communes indigènes. Depuis 1876, les frais de sondage sont payés intégralement par les indigènes; il arrive souvent que ceux-ci empruntent aux nomades, pour faire face aux dépenses de leurs puits, et s'endettent. Le développement des institutions de crédit serait un bienfait pour ces populations, qui sont dignes d'intérêt et sur lesquelles le chemin de fer a besoin de compter.

L'autorisation de prêter les ateliers de sondage à des particuliers peut rarement être accordée, à cause du grand nombre des demandes indigènes et du petit nombre des ateliers. Cependant il semble désirable pour l'avenir de l'Oued Rhir qu'on y favorise les recherches privées et l'apport des capitaux pour la création de nouveaux centres.

Un troisième atelier de sondage est devenu nécessaire dans l'Oued Rhir.

Un quatrième atelier devrait également être créé pour la région d'Ouargla. La sonde française y est appelée par le vœu des populations, dont les dispositions désormais pacifiques semblent justifier la bienveillance du gouvernement.

Les cultures de l'Oued Rhir et d'Ouargla pourraient n'être pas limitées aux palmiers et à l'orge.

Des essais sur la culture du coton longue soie ont déjà été faits, avec succès, en grand, dans la plaine d'El Outaya, et, à titre d'expérience, à Tougourt. Il serait à désirer que ces essais fussent repris.

La vigne vient bien à l'oasis de Koudiat, annexe de Tougourt, où l'on en trouve 2.000 à 3.000 pieds.

Le tabac est déjà cultivé dans le Souf et les Zibans.

Parmi les nouveaux éléments de trafic, je mentionnerai les feuilles de palmiers, le drin et le senoc, qui sont utilisables comme pâte à papier et pour la sparterie; et le sel des chotts, qui peut être exploité économiquement et devenir un objet d'importation pour le Soudan.

Les pays voisins sont aussi capables de développement.

J'insisterai sur l'avenir qui semble réservé au désert d'El Fayd, situé au nord du Chott Melrhir dans le bassin de l'Oued El Arab. Là, sur de vastes étendues, on trouve un limon, épais de plusieurs mètres, extraordinairement fertile, qui, dans les années pluvieuses ou en cas de crue de l'Oued El Arab, rapporte en blé jusqu'à 70 pour 1. Les Romains y possédaient un véritable grenier, et le rêve du général Desvaux était de faire revivre l'ancien état de choses. Les Romains avaient de nombreux barrages sur les rivières qui coulent de l'Atlas vers le Sahara. Aujourd'hui, tout se réduit à des barrages légers, de construction arabe,

qui malheureusement sont emportés à chaque grande crue. L'établissement d'un barrage sur l'Oued El Arab serait une dépense considérable sans doute, mais productive. Il est à souhaiter que cette idée soit mise à l'étude.

Un barrage à pertuis, vers l'embouchure de l'Oued Djedi, permettrait enfin, indépendamment de son utilité pour le chemin de fer, de régulariser les submersions fertilisantes de cette belle vallée.

La région de l'Oued Rhir et d'Ouargla a été représentée comme fièvreuse, infecte, inhabitable. Le tableau me semble singulièrement noirci. Je crois, au contraire, avec le docteur Weisgerber, qu'elle peut devenir habitable pour les Européens, au même titre que les Marais Pontins, les rizières du Pô, ou la plaine de la Mitidja.

Les oasis seules sont vraiment insalubres. Cela tient d'abord au mode d'arrosage des palmiers, tel qu'il est pratiqué de temps immémorial, ensuite et surtout, à la stagnation des eaux qui n'ont pas été absorbées par les terrains arrosés et qui filtrent dans des fossés collecteurs, soi-disant d'évacuation, fossés informes où l'écoulement ne se fait pas ou se fait mal. Quant aux villages, presque tous bâtis au milieu des oasis, aux points les plus bas, et entourés de fossés de défense, où se rassemblent les eaux croupissantes et où l'on jette les immondices, ils sont dans des conditions particulièrement malsaines. Les remèdes à un pareil état de choses sont d'abord de rectifier les fossés d'évacuation et d'assurer leur entretien par des mesures de police, de façon que le surplus des eaux d'arrosage soit draîné vers les régions de chotts, situées en contre-bas, qui s'offrent généralement dans le voisinage; puis, de combler les fossés de défense, devenus inutiles depuis la domination française, ainsi que l'agha Ben Driss l'a fait à Tougourt, où depuis 1874 les fièvres ont presque disparu, et a essayé de le faire à Ouargla.

Les nouveaux centres ne doivent plus s'établir au cœur même des cultures, mais à proximité, sur les monticules et les éminences ; tels sont les emplacements du bordj de Tala em Mouïdi à Ourlana, du village de Tamerna Djedida, de la kasba de Ba Mendil près d'Ouargla.

En résumé, la situation du pays qui s'étend entre Biskra et Ouargla motiverait à elle seule l'établissement d'une voie ferrée, qui serait utile à l'extension de notre influence dans le sud, qui peut se faire, même indépendamment du trans-saharien, qui se fera, un jour ou l'autre, si le trans-saharien se fait, et qui se trouverait prête à servir d'amorce au tracé passant par l'Oued Rhir, la sebkha d'Amaghdor et les oasis d'Aïr, suivant l'ancienne route des caravanes entre les Etats barbaresques et le Soudan.

Nous savons déjà, par la mission Flatters, qu'au sud d'Ouargla, la traversée des grandes dunes n'offre aucune difficulté, et qu'un chemin de fer peut gagner les Ahaggar dans les conditions les plus simples au point de vue technique.

Paris, le 10 juin 1880.

NOTE

SUR

L'ACCIDENT DU PUITS FONTANES

DES HOUILLÈRES DE ROCHEBELLE (GARD)

Par M. DE CASTELNAU, ingénieur des mines.

Le 28 juillet 1879, un grave accident est arrivé au puits Fontanes de la concession houillère de Rochebelle et Cendras (Gard). La cause étrange qui l'a provoqué, les circonstances qui l'ont accompagné, les appréhensions que la révélation d'une nouvelle source de dangers peut faire concevoir pour l'avenir, sont autant de sujets dignes de fixer l'attention des ingénieurs et d'être soumis à leur examen. Je souhaite que ce compte rendu, en signalant aux mineurs un ennemi qu'ils ne connaissaient pas encore, ait pour résultat de provoquer l'étude des moyens propres à le combattre.

Description du lieu de l'accident (Pl. VI, *fig.* 2, 3 et 4).

Le puits Fontanes est un puits en fonçage ouvert dans une région où le terrain houiller est plissé, ondulé et très tourmenté, probablement sous l'influence de soulèvements dont le mont Cabane et le Rouvergue sont des témoins, et d'une faille très importante, dirigée *h*·3, qui met, au voisinage du puits, le trias en contact avec le néocomien. Ce puits, de $4^m,30$ de diamètre intérieur, a atteint la profondeur de 345 mètres. Il est divisé en deux compartiments par une cloison en bois : l'un sert à l'entrée de l'air et aux manœuvres, l'autre contient les pompes et les échelles et sert de retour d'air ; à cet effet, il communique par la galerie AB avec un puits p_1, dont l'orifice est

à 17^m,15 au-dessus de celui du grand puits. L'aspiration de l'air s'effectuait : 1° au moyen d'un tuyau de vapeur débouchant dans le petit compartiment, à 125 mètres de profondeur; 2° au moyen du tuyau d'échappement de la machine d'épuisement, lequel débouchait dans le puits d'aérage. A 32 mètres à l'est du puits Fontanes, il existe, pour le service d'une petite exploitation en amont, un puits d'extraction *p*, de 20 mètres de profondeur, communiquant avec la galerie AB par un travers-bancs TT, lequel est perpendiculaire à une galerie d'écoulement E débouchant presque au niveau de la rivière le Gardon. Une porte K, établie dans la galerie AB, isole de ces travaux le retour d'air du puits en fonçage.

La couche 11, dans laquelle l'accident s'est produit, a été recoupée dans le puits à 246 mètres de profondeur. Elle avait une puissance totale de 4 mètres, y compris un entre-deux schisteux de 2^m,50 : en la traversant, il s'était dégagé une quantité notable d'acide carbonique. Cette couche fut suivie quelque temps en direction, puis perdue à la rencontre d'un dérangement; après avoir marché à travers bancs dans le toit sur 10^m,60 de longueur, on reprit, près du dérangement, une trace schisteuse noire qui conduisit à la couche. Celle-ci fut suivie alors horizontalement : à 42^m,80 du puits, sa puissance étant de 1^m,20 et son allure mieux réglée, on entreprit un montage *bd*, suivant l'inclinaison, dont la moyenne est, en cet endroit, de 13°31'. Ce montage marchait vers une descente commencée dans la couche 6 au niveau 125 et dont le percement avait dû être arrêté par suite de l'affluence des eaux, de l'acide carbonique et de la rencontre d'un amincissement.

Le but unique de ce travail était d'améliorer l'aérage en établissant une communication entre la galerie du niveau 246 et un orifice de sortie situé à 59 mètres au-dessus du niveau de la place.

La couche 11, comme toutes les couches rencontrées

dans le puits Fontanes, dégage de l'acide carbonique : ce gaz produisait, au front de taille, un bruissement pareil à celui du grisou, et le charbon décrépitait comme dans les chantiers grisouteux. Pour se mettre à l'abri d'une irruption possible et subite de ce gaz, les exploitants faisaient précéder le front de taille d'un trou de sonde de 2 mètres de longueur.

Le 16 avril 1879, vers 4 heures du soir, il se produisait à l'avancement de la remontée, qui n'avait encore que 15 mètres de longueur, un phénomène avant-coureur de l'accident du 28 juillet. Le mineur qui travaillait à ce chantier constata tout à coup que le charbon décrépitait plus fort que d'habitude; en même temps, sa lampe fut éteinte, couverte de charbon, et l'air devint très mauvais. L'ouvrier se retira en appelant à lui son manœuvre : celui-ci se trouvait, à ce moment, vers le milieu de la galerie horizontale et avait senti un fort coup de vent qui avait éteint sa lampe. Il la ralluma aussitôt et les deux ouvriers se dirigèrent vers le chantier, mais leur lampe s'éteignit encore et ils vinrent à la recette où ils durent attendre pendant près de trois quarts d'heure que des camarades leur eussent envoyé du feu. Ils retournèrent alors à l'avancement et constatèrent que le charbon était brisé et formait talus au front de taille : la lampe brûlant difficilement, les deux mineurs se retirèrent et montèrent au jour. Quand, vers 6 heures, le poste de nuit descendit, il ne put pénétrer dans les travaux à cause du mauvais air. On ouvrit, pour activer l'aérage, le robinet d'un réservoir installé au niveau 165 et on ne cessa pas, durant toute la nuit, d'épuiser, au moyen des bennes, l'eau qui tombait par ce robinet dans le puits.

Le lendemain 17, l'air était bon dans les travaux et l'ingénieur de la mine, M. Peyre, put visiter le chantier. Le massif de l'avancement avait été comme violemment secoué et brisé sur place sans aucune projection; le trou de sonde n'avait pas même été détruit : à l'angle supérieur de droite,

à $0^{m},30$ du toit, on voyait, dans la masse du charbon, un trou de forme grossièrement ronde, de $0^{m},15$ environ de diamètre, dans lequel on put enfoncer une règle de 2 mètres de longueur. La partie du massif qui avait été brisée fut enlevée et on ne vit ni poche, ni soufflard, ni dérangement; le passage au massif vif et résistant fut insensible.

Le chantier fut arrêté; avant de continuer ce percement, et dans le but d'assurer un aérage suffisant, on agrandit la galerie et la remontée, et on y établit un galandage soigneusement construit.

L'avancement fut repris le 17 juillet; et on décida, toujours en vue d'améliorer l'aérage, de faire deux montants conjugués au lieu d'une seule remontée. Ce travail fut confié à six mineurs de choix divisés en deux postes. Il marcha sans interruption jusqu'au 28 juillet; aux chantiers, l'air n'était pas frais, *la touffe* (acide carbonique) n'avait pas cessé de se dégager : néanmoins les lampes brûlaient bien et le travail n'était pas trop pénible.

Le samedi 26 juillet, l'état des chantiers, au moment de la sortie du poste de jour, était le suivant :

Dans celui de gauche (le plus au sud), la couche avait $2^{m},45$ de charbon; il était complètement affranchi : dans celui de droite, la couche avait de $0^{m},80$ à 1 mètre de puissance et semblait augmenter d'épaisseur et diminuer d'inclinaison; il restait, en outre, $1^{m},50$ au moins de longueur de schiste à faire sauter au mur, pour donner à la galerie sa hauteur normale de 2 mètres. Ce même jour, à 6 heures du soir, le poste de nuit, composé des trois victimes de l'accident du 28, entra dans la mine et travailla jusqu'au lendemain matin. Il est certain que, vers 9 ou 10 heures du soir, un coup de mine fut tiré au chantier de droite et que le mineur employa la durée de son poste à l'enlèvement du rocher : la poudre ne servait pas à l'abatage du charbon; on n'en faisait usage que dans ce chantier et pour ce rebanchage.

La journée du lendemain dimanche fut employée à déblayer complètement les travaux du niveau 246, et les deux avancements ne furent repris que le lendemain matin, 28 juillet, à 6 heures 20 minutes. Le poste était composé des trois victimes : Baillac, Pascal et Salles. Baillac travaillait au chantier de droite, Pascal à celui de gauche, Salles leur servait de manœuvre.

Récit de l'accident et du sauvetage.

Le 28 juillet, à 5 heures du matin, le chef de poste Beaufils, accompagné du receveur, fit la visite du puits et des travaux du niveau 246. Ils trouvèrent les deux fronts de taille affranchis, débarrassés de tout charbon et de tout déblai, et ils ont déclaré qu'aucun coup de mine n'y était préparé. Le receveur constata que l'air était bon et pur ; Beaufils, au contraire, qui est plus sensible à la présence du mauvais air, parce qu'il est asthmatique, sentit légèrement, à l'avancement, l'acide carbonique. Aussi, en remontant au jour, donna-t-il l'ordre aux trois mineurs du niveau 246 d'ouvrir le robinet du réservoir n° 3 (niveau 165) et de laisser l'eau couler pendant 10 minutes dans le puits, afin d'en assainir complètement l'atmosphère. Au bout de ce temps, Baillac, Pascal et Salles se rendirent à leur travail et renvoyèrent la benne au jour. Deux autres ouvriers, entrepreneurs du fonçage, nommés Combette et Ducros, se firent alors descendre à la profondeur de 325 mètres pour y construire un palier d'échelle. Ils terminèrent ce travail au bout d'une heure et se disposaient à descendre plus bas, quand ils entendirent une détonation semblable à celle d'un coup de mine, mais plus forte et plus brève. Combette crut à la rupture d'un organe des pompes et se gara au-dessous du palier ; il remarqua, en même temps, que sa lampe continuait à vaciller comme sous l'action d'un courant d'air, ce qui l'étonna, car la cloison ne dépassait pas la profondeur de

278 mètres; quant à Ducros, qui se trouvait debout dans la benne, il crut au tirage d'un coup de mine. Une minute s'était à peine écoulée, qu'un second coup, plus fort que le premier, se fit entendre; au même instant, leurs lampes s'éteignirent et ils sentirent l'odeur caractéristique de l'acide carbonique, qui arriva subitement en si grande quantité, que Ducros s'affaissa dans la benne. Combette, plus robuste que son camarade, n'eut que le temps de défaire les attaches qui maintenaient la benne près de la paroi, d'y pénétrer et de crier : au jour ! puis il perdit ses sens. Le machiniste, auquel ces cris de détresse avaient été transmis, les enleva rapidement et ils arrivèrent au jour, sinon complètement évanouis, du moins dans un état de faiblesse tel, qu'on dut les soutenir et les aider à sortir de la benne.

A l'orifice du puits se trouvaient, à ce moment, le receveur et un chef de poste prêts à descendre. Ils ont déclaré n'avoir entendu aucune détonation et n'avoir compris qu'un accident venait d'arriver qu'en entendant les cris de détresse des deux ouvriers qui venaient d'échapper à la mort.

L'ingénieur de la mine, M. Peyre, qui se trouvait non loin du puits, apercevant des mouvements inusités à la recette, s'y transporta aussitôt et, après avoir appris brièvement ce qui venait de se passer, descendit immédiatement par la benne dans le puits, accompagné par deux ouvriers spéciaux et un chef de poste et précédé par une lampe à feu nu, suspendue à l'extrémité d'une corde de 20 mètres de longueur : il s'était à peine écoulé dix minutes depuis la dernière détonation. Ces courageux sauveteurs arrivèrent ainsi à la profondeur de 130 mètres; là, la lampe s'éteignit. Ils descendirent encore 20 mètres plus bas, appelant de toutes leurs forces; mais personne ne leur répondit. Les lampes qu'ils portaient s'éteignirent également; ils éprouvèrent eux-mêmes les effets de l'acide carbonique et durent se faire remonter au jour. M. Peyre ne prit que le temps d'avertir par

écrit le directeur de la Compagnie des houillères de Rochebelle, M. de Place, qui arriva peu après sur les lieux, et il redescendit une seconde fois; mais il ne put dépasser la profondeur de 110 mètres. Une troisième tentative suivit de près la précédente; mais la profondeur de 100 mètres ne put être franchie. Enfin, vers 10 heures du matin, le niveau du mauvais air n'était pas éloigné de plus de 50 mètres du jour. La descente dans le puits étant absolument impossible, on dut renoncer à secourir les trois malheureuses victimes avant d'avoir expulsé l'acide carbonique au moyen d'un courant d'air énergique.

A cet effet, on épuisa par bennes et on rejeta dans le puits l'eau qui en sortait; en même temps on amena au moyen de *manches* en toile toute l'eau disponible et on la jeta également dans le puits, après l'avoir additionnée de chaux et d'ammoniaque.

M. Julien, ingénieur en chef des mines, partit pour Fontanes immédiatement après avoir été prévenu; il arriva vers une heure de l'après-midi et, formant un conseil composé de M. de Place, directeur de la Compagnie, de ses ingénieurs et de l'ingénieur ordinaire des mines, il prit la direction des travaux de sauvetage. Tout d'abord, M. Julien organisa la projection d'eau chaulée de façon à faire tomber une nappe d'eau large et continue embrassant toute la surface du compartiment d'entrée d'air; à cet effet, il fit descendre à quelques mètres au-dessous de la surface une benne à fond mobile entrebâillée de 0,01, dans laquelle furent déviées toutes les eaux des pompes d'épuisement; en même temps, quatre hommes placés, à la recette, aux quatre coins du puits, projetaient, sans discontinuer, des seaux d'eau chaulée. Cette opération réussit : les lampes que l'on descendait dans le puits pour suivre les variations du niveau de l'acide carbonique atteignirent vers 3 heures la profondeur de 90 mètres, vers 5 heures celle de 130; enfin, à 10 heures du soir, elles remontaient allumées de la

profondeur de 280 mètres. Les ingénieurs de l'État, l'ingénieur de la mine et plusieurs employés et ouvriers descendirent alors dans le puits et pénétrèrent dans la galerie de la couche 11, précédés par un maître-mineur portant une lampe de sûreté. La galerie horizontale *a b* était absolument intacte et le galandage en parfait état. A un mètre du guichet P_1 se trouvait étendu, à plat ventre, au milieu de la voie, le corps du manœuvre Salles, la tête tournée dans le sens de la fuite; à côté de ses pieds et de ses mains, le sol était comme labouré sur une longueur de $0^m,20$; la rigidité cadavérique existait encore. La remontée était presque absolument pleine de charbon menu, depuis le sommet jusqu'à 9 mètres de son pied ; à partir de ce point, le charbon était descendu en talus jusqu'au bas de la pente. On avança dans la remontée aussi loin que possible, et après avoir constaté l'absence de toute trace de grisou, on chercha, au moyen des lampes à feu nu placées au toit, à voir aussi loin que possible dans le vide qui existait entre ce toit et la masse de charbon éboulé. Aussi loin que la vue pouvait s'étendre, les bois étaient en place, le galandage en parfait état; l'air passait, mais faiblement, et se chargeait de plus en plus d'acide carbonique à mesure qu'on agitait le charbon en le foulant. Aussi fallut-il bientôt remonter au jour, où l'on décida d'activer l'aérage et d'assainir encore l'atmosphère en épuisant, pendant toute la nuit, au moyen des bennes, l'eau accumulée dans le puits.

Le travail de déblaiement fut entrepris le lendemain matin, 29, à 6 heures 1/2 ; on commença par crever le galandage, dans la remontée, aussi haut que possible, afin d'assurer une section suffisante au courant d'air. Vers 9 heures, les ouvriers étaient déjà fatigués et incommodés par l'air, qui devenait de plus en plus lourd ; ils revinrent à la recette intérieure et demandèrent à être remplacés. Un nouveau poste descendit dans le puits et essaya de pénétrer dans la galerie horizontale, mais il ne put arriver à plus de 10 mè-

tres de la recette ; il fut repoussé par l'acide carbonique qui avait encore envahi la galerie et dut remonter au jour avec les ouvriers qu'il venait relever. On recommença alors à projeter de l'eau chaulée dans le puits et on continua cette opération pendant une heure, puis M. Julien décida que l'on établirait à la recette du niveau 246 un ventilateur à bras, et que l'on avancerait prudemment en allongeant les canaux d'aérage. Ce travail allait être terminé et il ne restait plus qu'à raccorder la ligne de canaux en bois placée dans la galerie horizontale, avec un coude déjà posé dans la remontée, quand l'air, qui s'alourdissait, devint tellement mauvais, que tous les travailleurs durent fuir devant l'invasion du gaz et arrivèrent au jour fatigués et même souffrants. On se remit, de rechef, à jeter de l'eau chaulée en larges nappes dans le puits, et une nouvelle tentative fut faite vers 5 heures du soir; mais elle n'eut pas de succès, le mauvais air remplissait encore la galerie.

Alors, dans le but de forcer la quantité totale du courant d'air à passer à l'avancement, on ferma le compartiment de sortie d'air au moyen d'un plancher étanche établi à $0^m,40$ au-dessous du niveau 246. Vers minuit, M. de Place pénétra avec deux employés et un ouvrier dans la galerie pour juger de l'effet de cette opération, et il constata avec étonnement que le sens du courant d'air était renversé. Dans ces conditions, il eût été imprudent de reprendre le déblaiement et, auparavant, dans le but de rechercher les fuites et d'y remédier, on inspecta minutieusement la cloison et le compartiment de sortie. Cette dernière, surtout sur les 80 premiers mètres, n'était pas suffisamment étanche; on trouva, de plus, qu'une bâche installée au niveau 55 laissait tomber de l'eau dans ce compartiment, et qu'une porte établie au niveau 125 était entrebâillée. On répara ces dernières défectuosités; mais, malgré ces améliorations, l'air continuant à être inverse au niveau 246, on pria M. Jouguet, directeur des fonderies et forges de Bessèges

et Tamaris, d'envoyer de Bességes le ventilateur qu'il avait gracieusement offert.

En même temps, les ingénieurs de l'État écrivaient à M. Graffin, directeur de la Compagnie des Mines de la Grand'-Combe, pour le prier de vouloir bien envoyer son ventilateur de secours.

Le ventilateur de Bességes, arrivé le 30, vers 2 heures 1/2 après midi, fut installé sur le puits d'aérage par les soins du personnel de l'usine de Tamaris, qui manifesta dans ces circonstances un véritable dévouement; et M. Escalle, directeur de cette usine, voulut bien démonter sa défourneuse mécanique et procurer ainsi une locomobile destinée à faire mouvoir cet appareil.

M. Graffin répondit avec empressement à l'appel qui lui fut adressé; non seulement il expédia, dans la soirée, son ventilateur, mais encore il envoya, pour l'installer, une équipe d'ouvriers intelligents et actifs, sous les ordres de M. Jalabert, ingénieur de l'extérieur. L'emplacement assigné à ce ventilateur fut le petit puits d'extraction *p*. Les ingénieurs de Tamaris prirent les dispositions nécessaires pour le faire actionner par la machine de ce puits et, dès 8 heures du soir, les ouvriers de la Grand'-Combe travaillèrent à préparer son emplacement.

L'ordre et la rapidité avec lesquels ces ouvriers effectuèrent cette installation leur ont mérité les éloges de tous ceux qui les ont vus à l'œuvre. Pendant que toutes ces opérations s'effectuaient à la surface, on exécutait à l'intérieur les barrages nécessaires.

Le ventilateur de Bességes commença à fonctionner le 31 juillet, à midi; il débitait 2,394 litres par seconde pour une vitesse de 490 tours à la minute; malheureusement, il ne parvint pas à rétablir le sens du courant d'air. Le ventilateur de la Grand'-Combe fut mis en mouvement, ce même jour, à 5 heures du soir, et paralysa bientôt l'action de son voisin que l'on dut arrêter et boucher. A 7 heures 1/4,

M. Julien, accompagné de quelques ingénieurs, redescendit dans le puits et constata encore que le courant d'air était toujours renversé et l'atmosphère des travaux de la couche 11 peu respirable. Préoccupé de cette situation, M. Julien inspecta encore très minutieusement les plans et fit exécuter de nouveaux barrages. Le ventilateur fut ensuite remis en marche après un arrêt de 5 heures, et, deux heures après, le vendredi 1er août, à 3 heures du matin, une nouvelle tentative de descente fut effectuée ; mais on fut arrêté à 46 mètres au-dessus de la galerie, le puits était jusqu'à cette hauteur rempli d'acide carbonique. Pendant les cinq heures qui suivirent, les progrès de la ventilation parurent être nuls, et M. Julien songea à établir un ventilateur soufflant; mais, auparavant, remarquant que le renversement du courant d'air avait coïncidé avec l'établissement du plancher du niveau 246, il décida, vers 8 heures du matin, de crever ce plancher en faisant tomber du niveau 165 deux boulets en fonte; on reprit ensuite l'épuisement et l'injection de l'eau. Le niveau de l'acide carbonique baissa alors progressivement et, vers 2 heures de l'après-midi, le puits étant absolument purgé d'acide carbonique, on put pénétrer dans la galerie du niveau 246. On constata encore que le courant d'air était renversé; on agrandit, en démolissant la moitié du plancher, la brèche pratiquée par les boulets, qui n'avaient fait qu'entrebâiller l'une des voliges, et on fit ouvrir les robinets des divers réservoirs établis dans le puits (*). Enfin, à 7 heures 1/2 du soir, l'air de la galerie était excellent, et le courant, quoique faible, avait un sens normal; le travail du sauvetage put donc être immédiatement repris.

Ce travail consistait à déblayer la remontée et à transporter le charbon à la recette, d'où on le précipitait dans

(*) On peut estiner de 7 à 10 mètres cubes à l'heure la quantité d'eau qui alimente ces réservoirs.

le puits. Vers 9 heures, l'odeur cadavérique se fit sentir ; à minuit, le corps de Baillac fut découvert à 10 mètres du front de taille de son chantier; il était couché sur le dos, la tête en bas, les bras étendus et en avant, le milieu du corps à la hauteur de l'extrémité du galandage. Le cadavre fut dégagé avec peine, mis dans le cercueil au bas de la remontée et envoyé au jour. Déjà, depuis une heure, les ouvriers ne travaillaient que la bouche et le nez couverts par une éponge imbibée d'eau phéniquée.

Les travailleurs se remirent à la besogne après quelques instants de repos, et, à 1 heure 1/2 du matin, on découvrit le cadavre de Pascal, dans son chantier. Ce chantier était absolument intact, complètement vide et barré à l'entrée par le charbon projeté du chantier voisin. Il était, d'ailleurs, complètement rempli d'acide carbonique que l'on fit écouler avec précaution; puis, avant l'enlèvement du corps, le chantier fut examiné avec le plus grand soin et l'absence du grisou bien constatée. Pascal gisait à 3 mètres du front de taille ; il était à genou sur la jambe gauche, la jambe droite étendue, la figure sur le sol, le bras droit étendu en avant, le bras gauche replié sous la poitrine, la tête tournée dans le sens de la fuite. Il avait été évidemment foudroyé en cherchant à échapper au redoutable fléau.

Tel est le récit de l'accident du puits Fontanes et du pénible sauvetage qui l'a suivi. Avant de passer à la discussion de ses causes, je résumerai ici les expériences que j'ai entreprises pour me rendre compte de l'aérage, par le ventilateur de la Grand'-Combe, des travaux de ce puits.

Ce ventilateur débitait, à la vitesse de 168 tours par minute, 5,887 litres d'air par seconde.

Le volume qui passait dans la galerie de la couche 11 était $0^{m3},589$
Le volume du courant partiel qui traversait la brèche pratiquée dans le plancher, était. . . . . $1^{m3},837$
et la dépression de 19 millimètres.

Le volume d'air absolument perdu s'élevait donc à 59 p. 100 de la quantité totale de l'air aspiré par le ventilateur; ces pertes étaient dues surtout à l'étanchéité incomplète de la cloison et à celle, beaucoup moins sensible, des barrages. Ces résultats expliquent les difficultés considérables que l'on a rencontrées pour aérer une galerie dans laquelle l'air, en revenant sur lui-même, éprouvait de grandes résistances, et pour mettre en mouvement une masse importante et pesante d'acide carbonique, qui se renouvelait partiellement au fur et à mesure de son enlèvement.

Cause de l'accident.

L'accident du puits Fontanes est uniquement imputable à une expansion spontanée, subite et très considérable d'acide carbonique qui se trouvait à une pression élevée dans la couche de charbon et qui a fait irruption dans le chantier de droite en renversant le front de taille, brisant et lançant au loin la houille qui le renfermait. Et d'abord, il n'est pas contestable que ce ne fût de l'acide carbonique. Tous les travaux exécutés dans la couche 11 ont rencontré ce gaz si fréquent dans les houillères de Rochebelle. Le personnel de la mine, ingénieurs, maîtres-mineurs et ouvriers, qui sont familiarisés avec les caractères et les effets de l'acide carbonique, l'ont parfaitemont reconnu. De tous les gaz que l'on rencontre habituellement dans les mines, l'acide carbonique pouvait seul, à cause de sa grande densité, envahir aussi rapidement le fond du puits. L'extinction des lampes plongées dans l'atmosphère viciée par le gaz de l'expansion est un des caractères les plus frappants et les plus certains de la présence de cet acide. Cette extinction s'effectuait, dans le puits, à un niveau si bien déterminé, qu'il était possible de suivre ainsi, pas à pas, les progrès de la ventilation. Les lampes présentées à l'orifice du puits de sortie s'éteignaient également. Il n'est pas dou-

teux que ce ne soit cet acide qui ait, à plusieurs reprises, envahi les galeries et repoussé les travailleurs; c'est encore ce gaz qui remplissait entièrement le chantier de Pascal. Enfin, sa nature a été chimiquement déterminée par l'expérience suivante plusieurs fois répétée : si l'on vidait à moitié, à l'intérieur et près de l'entrée du puits d'aérage, un flacon préalablement rempli d'eau de chaux, le liquide qui restait se troublait instantanément et la chaux était précipitée.

Sous quel état ce gaz se trouvait-il renfermé dans le charbon? Était-il, pour ainsi dire, intermoléculaire, ou bien condensé sous pression dans une poche?

La persistance du dégagement de cet acide, qui a été rencontré dans toutes les couches recoupées par le puits Fontanes et particulièrement dans la couche 11, peut faire croire que ce gaz était contenu dans la masse du charbon, à la manière du grisou. Pour s'assurer qu'il n'était point renfermé dans une cavité préexistante, il aurait fallu déblayer complètement la remontée; cette opération a malheureusement été arrêtée après la découverte et l'enlèvement du dernier cadavre. Aussi les seuls renseignements qu'il ait été possible de recueillir sur l'état du chantier dans lequel l'expansion s'est produite et qui sont détaillés ci-dessous, sont-ils forcément incomplets. Jusqu'à l'entrée de ce chantier, tous les cadres, tous les garnissages de la remontée étaient en place et n'avaient subi aucun mouvement; le massif qui séparait les amorces des deux montants conjugués était intact; aussi loin que l'on pût voir dans ledit chantier, le toit n'avait subi aucun ébranlement. Néanmoins, les chapeaux des cadres avaient été enlevés, et les piles inclinées par l'effort du charbon violemment projeté hors de son logement. Il a été possible d'enfoncer entre le toit et la masse du charbon brisé une règle dont l'extrémité a pu parvenir, sans rencontrer aucun obstacle, à 6 mètres au delà du front de taille que présentait le chan-

tier au moment de l'accident. Il est donc certain que ce front de taille a été renversé sur une grande longueur, et si l'on admet que la destruction se soit arrêtée au point que la règle n'a pu dépasser, on arrive, dans le calcul de la quantité de charbon brisé et projeté, au chiffre de 76.000 kilogrammes. Ce chiffre doit être considéré comme un minimum. Quant au volume du gaz qui s'est dégagé, il est impossible de l'apprécier avec quelque exactitude; ce que l'on peut certifier, c'est que la quantité d'acide carbonique qui a fait subitement irruption dans les travaux a suffi pour vicier en quelques minutes près de 5.000 mètres cubes d'air.

Quelque évidente que fût la cause du triste événement du 28 juillet, pour ceux qui en connaissaient toutes les circonstances, cette cause, par cela même qu'elle était extraordinaire et à peu près inconnue jusqu'alors, ne fut point admise par certains esprits insuffisamment informés, qui cherchèrent à expliquer l'accident en l'attribuant à une explosion de grisou. Or, non seulement l'hypothèse d'un coup de grisou est absolument inadmissible et tombe devant le simple énoncé des faits, mais encore on peut dire qu'il n'y a eu inflammation d'aucune sorte. En effet, si le gaz qui s'est dégagé eût été le grisou, lorsque, moins de dix minutes après l'accident, de courageux sauveteurs sont descendus dans le puits avec des lampes à feu nu, ils auraient provoqué une épouvantable explosion. De même, lorsque, le lundi soir, une première équipe a pénétré dans la galerie et la remontée, ou bien le grisou aurait été tout d'abord découvert au moyen de la lampe de sûreté, ou bien il aurait pris feu sur les lampes à feu nu dont on faisait usage. Si c'eût été le grisou qui eût aussi rapidement et aussi abondamment envahi les travaux, il en serait certainement resté dans le chantier Pascal, véritable remontée en cul-de-sal de 8 mètres de longueur; or, ce gaz, dont on n'a pas encore vu la plus petite trace dans toute l'étendue

des houillères de Rochebelle, a été recherché avec le plus grand soin au moyen de la lampe Mallard et Le Châtellier, et nulle part sa présence n'a été constatée ni pendant ni après le sauvetage. Si le grisou eût brûlé, les vêtements des victimes qui étaient suspendus aux points P, B, S, S′, S″ de la galerie horizontale, les deux cartouches partiellement remplies de poudre et les mèches de sûreté trouvées au point S′ auraient porté les traces de cette inflammation ; or, ces objets avaient été plus ou moins recouverts de poussière charbonneuse, mais ils étaient absolument intacts.

La houille de la couche 11 est maigre, mais elle se réduit facilement en une poussière très ténue : s'il y avait eu inflammation, on aurait dû retrouver, sur les boisages et sur les parements, du charbon cokéfié, ou, tout au moins, agglutiné et fritté; or il n'y en avait pas trace dans la mine. Enfin le galandage, la cloison, les portes, sont restés debout et en parfait état; le grisou, s'il eût détonné, aurait dégradé ces obstacles, car l'expérience démontre que, dans une explosion de grisou, tout ce qui sert à diriger le courant d'air, tout ce qui gêne sa libre circulation, est plus particulièrement exposé aux ravages du fléau.

Non seulement il n'y a pas eu explosion de grisou, mais encore l'hypothèse d'une inflammation par suite du tirage d'un coup de mine doit être écartée : on a vu, en effet, que, dans le chantier de droite, le seul où l'on fît usage de la poudre, aucun coup de mine n'était préparé au moment de la visite du chef de poste, et il faut remarquer que le mineur, n'ayant travaillé qu'une heure avant l'accident, n'aurait pas eu le temps de faire et de tirer un coup de mine. Du reste la comparaison de la quantité de poudre livrée aux ouvriers avec celle qu'ils avaient consommée avant le 28 juillet et celle qui a été retrouvée dans la galerie a démontré qu'ils n'en ont point brûlé le jour de l'accident; enfin il a été établi qu'au moment de l'expansion, Baillac

n'avait pas à sa disposition le seul bourroir qui faisait partie de l'outillage de son poste.

Quant aux constatations médico-légales faites sur les corps en putréfaction des malheureux Pascal et Baillac, elles ont donné lieu de la part de M. l'ingénieur en chef Julien, à une enquête contradictoire et à des recherches minutieuses qui ont détruit le seul argument que les défenseurs de l'hypothèse d'un coup de grisou pouvaient, en dehors de toute opinion préconçue, faire valoir à l'appui de leur manière de voir. M. Julien a, en effet, prouvé que les altérations de la peau, constatées sur le cadavre de Baillac en particulier, ne pouvaient être attribuées à l'action d'une flamme quelle qu'elle fut et étaient dues à une cause toute différente et même étrangère à l'accident. Aussi peut-on dire en toute vérité, que l'hypothèse d'un coup de grisou n'a plus eu, depuis ce moment, dans le Gard, un seul partisan.

En résumé, les houillères de Rochebelle sont des *mines à acide carbonique* comme certains charbonnages sont des *mines à grisou*. A part, en effet, les « véritables sources d'acide carbonique » citées par Combes (*) dans son Traité d'exploitation et que l'on rencontre dans le creusement des travers-bancs ou le fonçage des puits de Rochebelle, ce gaz semble encore être enfermé dans la masse même du charbon et s'en dégage à la manière du grisou. Il existe même, comme dans les mines grisouteuses, des couches qui fournissent une plus grande proportion d'acide carbonique que celles qui les avoisinent.

Enfin, l'accident du 28 juillet est venu démontrer que l'acide carbonique donne lieu, comme le grisou et dans des circonstances analogues, à des dégagements instantanés et d'une violence extraordinaire.

A propos de la catastrophe de Frameries, dont une rela-

(*) *Traité d'exploitation*, par Combes, tome II, page 168.

tion a été publiée dans les *Annales des mines* (*), M. Cornet a fait à l'académie royale de Belgique, sur les irruptions subites du grisou dans les mines de houille, une communication dont les principaux passages ont été lus dans la réunion mensuelle tenue à Saint-Étienne, le 5 juillet 1879, par les membres de la société de l'industrie minérale (**) et résumés dans le compte-rendu de cette séance dont j'extrais le paragraphe suivant :

« Tout porte a faire admettre que les forces qui tendent « à faire sortir le grisou du charbon pour le répandre dans « l'atmosphère de la mine sont sensiblement égales sur « tous les points situés à la même profondeur dans les « couches où les dégagements sont fonction du volume « de charbon abattu, c'est-à-dire dans le groupe du charbon « flénu-gras, dans le groupe demi-gras à longue flamme « et dans quelques veines appartenant aux trois groupes « inférieurs. Mais ces trois groupes inférieurs comprennent « d'autres couches où l'on trouve des zones de charbon « renfermant du grisou sous une pression ou sous un état « tel que ce charbon est en quelque sorte *explosif*. Lors- « qu'une surface plus ou moins grande d'une semblable « zone est soustraite à une partie de la pression exercée « par les roches encaissantes, c'est-à-dire lorsqu'elle est « rencontrée par une galerie, le grisou se dégage brus- « quement avec un grand bruit, en brisant, pulvérisant « et lançant au loin la houille qui le renfermait. »

En remplaçant, dans la citation qui précède, le mot grisou par le mot acide carbonique, on peut appliquer exactement la théorie de M. Cornet à l'accident du puits

---

(*) *Note sur l'accident de Frameries*, par MM. Mallard, ingénieur en chef et Vicaire, ingénieur des mines, 7e série, tome XV, 1879.

(**) *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société de l'industrie minérale*, juillet 1879. — Communication de M. Meurgey, ingénieur des mines.

Fontanes et dire que les mines de Rochebelle comprennent une couche où l'on a trouvé une zone de charbon renfermant de l'acide carbonique sous une pression ou sous un un état tel, que le charbon était en quelque sorte explosif. Le percement de la remontée du niveau 246 a soustrait une surface de cette zone, égale à celle du front de taille, à la pression exercée par les roches encaissantes, et alors l'acide carbonique s'est dégagé avec grand bruit en brisant, pulvérisant et lançant au loin la houille qui le renfermait.

RAPPORT

PRÉSENTÉ AU NOM DE LA COMMISSION D'ÉTUDE

DES MOYENS PROPRES

A PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DU GRISOU

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation des mines à l'École des mines.

INTRODUCTION.

1. — Les explosions de grisou dont les mines de houille sont le théâtre ont toujours eu le douloureux privilége de frapper l'attention publique. L'activité croissante de la production, ainsi que l'augmentation de la profondeur, ont eu pour effet de développer encore cette cause de danger perpétuellement suspendue sur la tête du mineur. Il est toutefois nécessaire de dire que les efforts des exploitants et la sollicitude de l'administration, les investigations de la science et les généreux sacrifices des compagnies houillères, ne se sont jamais ralentis pour tenir en respect ce redoutable ennemi.

L'opinion publique s'est émue plus particulièrement en dernier lieu de quelques accidents extrêmement graves. Pour répondre à cette préoccupation, un projet de loi a été déposé à la Chambre des députés par M. Paul Bert, député de l'Yonne, en vue de provoquer l'institution d'une *Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou*, en mettant à sa disposition pour les dépenses nécessaires à ses travaux un crédit de 50.000 francs. Cette proposition a fait l'objet de deux rapports de M. Legrand, député du Nord, au nom de la commission d'initiative parlementaire et de la commission spéciale désignée pour cet

examen, ainsi que d'un avis de M. Sadi Carnot, député de la Côte-d'Or, au nom de la commission du budget. Après le vote du projet de loi par la Chambre des députés, le Sénat a entendu M. Tamisier, rapporteur de la commission chargée de cet examen et il a voté la loi sans modifications. Le texte en a été promulgué le 26 mars 1877.

Depuis cette initiative des pouvoirs publics en France, quelques gouvernements étrangers sont entrés dans la même voie et déjà des commissions semblables fonctionnent en Angleterre et en Belgique. Aux termes de la loi française, les membres de la commission ont été nommés pour la première moitié par M. le ministre de l'instruction publique, et pour la seconde par M. le ministre des travaux publics. Le *Journal officiel* du 8 janvier 1878 a enregistré les désignations suivantes :

MM. Daubrée, inspecteur général des mines, membre de l'Académie des sciences.
Berthelot, membre de l'Académie des sciences.
Thénard, membre de l'Académie des sciences.
Paul Bert, professeur de physiologie à la Faculté des sciences de Paris.
Hébert, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Paris, membre de l'Académie des sciences.
Du Souich, inspecteur général des mines.
Haton de la Goupillière, ingénieur en chef des mines, professeur d'exploitation à l'École des mines.
Clérault, ingénieur des mines.
A. Burat, professeur d'exploitation à l'École centrale des arts et manufactures.
De Marcilly, directeur général des mines d'Anzin.
Fouqué, professeur de géologie au Collège de France, et Pernolet, ingénieur civil des mines, remplissant les fonctions de secrétaires.

Un arrêté de M. le ministre des travaux publics en date du 10 janvier 1880 a remplacé sur sa demande M. Clérault, démissionnaire, par M. Mallard, ingénieur en chef des mines, professeur de minéralogie à l'École des mines.

2. — La commission s'est réunie pour la première fois le 24 janvier 1878 et a élu pour son président M. Daubrée. Dans cette même séance elle a décidé comme point de départ de ses travaux la préparation d'un document présentant un exposé aussi complet que possible de tout ce que l'on connaît au sujet du grisou, des dangers qu'il présente et des moyens de le combattre. Cette rédaction a été confiée au rapporteur soussigné, avec le concours des deux secrétaires et de deux ingénieurs des mines désignés par M. le ministre des travaux publics, MM. Sauvage et Küss.

Ce rapport a été mis à l'impression au commencement de mars 1878 et forme un in-octavo de 101 pages en petit texte. Il a été immédiatement distribué à un grand nombre de membres du corps des mines et d'exploitants, accompagné d'une circulaire destinée à provoquer les observations auxquelles il pourrait donner lieu de leur part, ainsi que leurs communications personnelles. Un grand nombre de réponses ont été reçues depuis lors et présentent pour la plupart beaucoup d'intérêt. La commission, dans sa séance du 17 décembre 1879, en a renvoyé l'ensemble au rapporteur soussigné, qui en a fait l'objet d'un second travail, imprimé et distribué comme l'avait été le précédent. On retrouverait dans ces deux documents une grande partie du rapport actuel, auquel ils devaient naturellement servir de cadre, quand le moment serait venu de rendre compte des travaux considérables accomplis par la commission, depuis sa création.

3. — Dès sa seconde séance, tenue le 22 mai 1878, elle a dressé le plan des recherches qu'elle devait entreprendre. Plusieurs sous-commissions ont été immédiatement instituées par elle et composées tant de ses propres membres que de personnes étrangères désignées d'avance à son choix par leur notoriété, leur zèle pour la science et leur grande compétence : MM. Aguillon, Lallemand, Le Châtelier, Petit,

didier, Vicaire, ingénieurs des mines, Regnard, professeur de physiologie à l'institut agronomique, Alfred Tresca, ingénieur attaché à la direction du Conservatoire des arts et métiers. Ces diverses sous-commissions ont embrassé les sujets d'études suivants :

1° Lampes de sûreté et questions qui s'y rattachent, telles que l'inflammation du grisou et les moyens de décéler sa présence ;

2° Poussières explosives de houille ;

3° Ventilation et études qui s'y rapportent, notamment celles qui concernent les appareils anémométriques ;

4° Composition chimique du grisou ;

5° Appareils respiratoires et recherches physiologiques auxquelles ils donnent lieu ;

6° Réglementation des mines à grisou en France et à l'étranger ;

7° Étude méthodique de plus de quatre cents accidents survenus en France depuis un grand nombre d'années ;

8° Missions en Angleterre, en Belgique et en Allemagne pour étudier sur place les questions les plus intéressantes, et en particulier pour apprécier jusqu'à quel point certaines dispositions insérées dans les règlements sont effectivement passées dans la pratique courante.

La commission tient à exprimer à cette occasion toute sa gratitude aux compagnies houillères, telles que celles d'Anzin, Blanzy, Commentry, etc., pour la libéralité avec laquelle elles ont mis à sa disposition leurs chantiers et leurs laboratoires. Il ne lui appartient certes pas de faire l'éloge des travaux qui ont été accomplis sous son inspiration; cependant, parmi les habiles expérimentateurs auxquels sont dus les résultats qu'elle a obtenus, elle tient à faire une mention spéciale du zèle infatigable et du talent mis à son service par MM. Mallard et Le Châtelier, membres du corps des mines, dans des études nombreuses qu'ils ont accomplies pour la plupart en commun.

4. — Indépendamment de ses propres travaux, la commission n'a pas cessé de faire au dehors appel aux lumières des hommes compétents qui ont bien voulu venir exposer dans son sein leurs opinions personnelles, ou reproduire devant elle des expériences qui leur étaient propres. Nous citerons par exemple : MM. Carnot, ingénieur des mines, professeur de docimasie à l'École des mines; Coquillion, professeur de l'Université; Dupont, inspecteur général des mines, professeur de législation à l'École des mines et inspecteur de cette école; Guibal, professeur émérite de l'École d'industrie et des mines de Hainaut; Von Huyssen, directeur général des mines à Halle; Marsaut, ingénieur en chef de la compagnie houillère de Bessèges; de Place, directeur des mines de Rochebelle; Petitjean, administrateur délégué de la compagnie des mines et forges de l'Aveyron; Potier, ingénieur des mines, professeur de physique à l'École des mines; Reynier, constructeur d'appareils électriques; Ruggieri, ingénieur artificier; Sarrau, ingénieur en chef des manufactures de l'État; Sauvage, ingénieur des mines; Schlœsing, directeur des manufactures de l'État; Tournaire, inspecteur général des mines, etc.

5. — Les travaux accomplis par la commission peuvent se classer de la manière suivante :

En premier lieu les discussions auxquelles elle s'est livrée dans les 37 séances qu'elle a tenues à l'École des mines ;

2° Les expériences exécutées dans les laboratoires de l'École des mines, de la Sorbonne et de l'usine à gaz de la Villette, par les membres de ses diverses sous-commissions, et répétées devant elle en séances générales;

3° Les rapports qui lui ont été présentés, au nombre de 64, par MM. Luuyt, Haton de la Goupillière, Clérault et Aguillon, membres du corps des mines, sur les diverses inventions qui lui avaient été soumises par l'intermédiaire

de M. le ministre des travaux publics, ou par leurs auteurs directement;

4° Les études accomplies sous ses auspices par MM. Mallard, Vicaire, Aguillon, Pernolet, Fouqué, Regnard, Haton de la Goupillière, dans les mines françaises ou étrangères;

5° Les pièces imprimées par elle, parmi lesquelles je me contenterai de citer, indépendamment des deux rapports dont il a été déjà question, celui de M. du Souich, inspecteur général des mines, sur la réglementation des mines à grisou en France et à l'étranger; le mémoire de M. Lechatelier, ingénieur des mines, relatif à l'influence du changement de pression barométrique sur le dégagement du grisou; le recueil de pièces annexées aux procès-verbaux renfermant un grand nombre de documents dus à MM. Aguillon, Burat, Castel, Chavatte, Clérault, Daumont, Denis, Fouqué, Haton de la Goupillière, Le Châtelier, Mallard, Marsaut, Massieu, Mathet, de Place, Reynier, Ruggieri, du Souich, Tournaire, Vicaire, etc.;

6° La rédaction laborieuse et attentive d'un document auquel la commission attache une grande importance et qui a pour titre : *Principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou.* Presque toutes les sous-commissions et particulièrement MM. du Souich, Aguillon et Pernolet ont contribué à la préparation de ce résumé : quinze séances ont été employées à sa discussion. Dans l'état provisoire auquel il a été ainsi amené, il vient d'être soumis aux observations des ingénieurs et des exploitants, et bientôt il reprendra place avec leurs réponses dans l'ordre du jour de la commission, qui lui donnera alors sa dernière forme (1).

(1) Cette élaboration était déjà presque arrivée à son terme, lorsque nous avons reçu la communication d'un intéressant document rédigé dans une pensée analogue par une commission d'ingé-

6. — En définitive la commission compte résumer essentiellement son œuvre :

1° Dans la préparation du document dont il vient d'être question, et où elle a cherché à présenter le résumé des dispositions effectives qu'il peut être utile d'observer, en tout ou en partie, suivant les circonstances, pour la conduite des mines à grisou;

2° Dans le présent rapport *général*, qui a pour but d'exposer aussi succinctement que possible les considérations théoriques et pratiques de nature à faire bien connaître le grisou et à conduire dans l'application journalière aux dispositions précédentes;

3° Dans un certain nombre de rapports *spéciaux* destinés à donner, sur les points qui ont été l'objet des études les plus approfondies de la part de la commission, des détails dont l'étendue eût troublé les proportions du travail actuel. On y développera notamment les questions des lampes de sûreté, des poussières explosives, de l'anémométrie, des appareils de sauvetage, et enfin le classement méthodique de plusieurs centaines de coups de feu.

7. — Il me reste à indiquer les principales divisions du rapport actuel, qui doit embrasser des questions si étendues et si diverses. Il comprendra trois parties essentielles. Dans la première nous étudierons le grisou en lui-même, c'est-à-dire ses propriétés et son mode de dégagement. Dans la seconde nous envisagerons les ressources préventives qui permettent de se garantir contre son influence. La troisième enfin fera connaître les moyens dont on dispose pour remédier aux accidents qu'il aura été impossible d'éviter.

---

nieurs pris parmi les plus compétents du bassin de la Loire. La commission du grisou s'est empressée néanmoins de prendre connaissance et de tirer un utile parti de ce travail émané d'une source aussi autorisée.

Ces trois chapitres principaux se subdiviseront à leur tour de la manière suivante :

PREMIÈRE PARTIE.

§ I. — Composition du grisou.
§ II. — Propriétés chimiques.
§ III. — Propriétés physiques.
§ IV. — Pression et dégagement du grisou.
§ V. — Influences atmosphériques.
§ VI. — Rôle des poussières de charbon.

DEUXIÈME PARTIE.

§ VII. — Généralités sur la ventilation des mines.
§ VIII. — Aérage naturel.
§ IX. — Foyers d'aérage.
§ X. — Ventilateurs mécaniques.
§ XI. — Moyens divers de ventilation.
§ XII. — Moyens préventifs non fondés sur la ventilation.
§ XIII. — Tirage à la poudre.
§ XIV. — Disposition des travaux en vue de l'aérage.
§ XV. — Réglementation.
§ XVI. — Éclairage.
§ XVII. — Moyens de reconnaître la présence du grisou.

TROISIÈME PARTIE.

§ XVIII. — Coups de feu.
§ XIX. — Sauvetage.
§ XX. — Incendies souterrains.

PREMIÈRE PARTIE.

PROPRIÉTÉS DU GRISOU.

§ I. — COMPOSITION DU GRISOU.

8. — Il convient de rappeler tout d'abord que, loin de désigner un corps à proportions définies, l'expression de grisou (1) se rapporte à un mélange complexe et très variable. Il sera donc à propos de consigner ici un assez grand nombre de résultats d'analyses.

La base essentielle du mélange est toujours l'hydrogène protocarboné ou gaz des marais. M. Turner, en Angleterre, M. Bischoff, en Allemagne, l'ont même parfois rencontré presque pur, sauf des quantités pour ainsi dire inappréciables d'hydrogène bicarboné, d'air et d'acide carbonique (2). Le plus ordinairement cependant ces derniers éléments prennent une importance plus ou moins marquée.

M. Galloway a rencontré, dans de nombreux soufflards, de 80 à 90 p. 100 d'hydrogène protocarboné, avec de l'oxygène et de l'azote en proportions variables et parfois un peu d'acide carbonique (3).

M. Schondorff a obtenu pour le gaz d'un soufflard le résultat suivant (4) :

Gaz des marais	93,664
Méthyle (C^4H^6)	0,884
Acide carbonique	0,628
Oxygène et azote	4,824

(1) Grisou, brisou, terrou, feu grieux, mofettes, mauvais air, mauvais goût, *fire live, fire damp, schlagendes Wetter*, etc.; charbon grisouteux, gazeux, soufreux, etc.

(2) COMBES : *Traité d'exploitation*, tome II, page 306.

(3) W. GALLOWAY, *Prevention of colliery accidents.*

(4) *Journal de Carnall*, tome XXIV, page 73.

Il donne également l'analyse d'un air chargé de grisou dans lequel les lampes *marquaient* en présentant une auréole bleue :

Azote	77,272
Oxygène	17,942
Acide carbonique	0,409
Gaz des marais	4,517
Méthyle	0,063

M. Playfair a trouvé pour divers échantillons de grisou les chiffres suivants (1) :

PROVENANCES.	Gaz des marais.	Azote.	Oxygène.	Acide carbonique.	Hydrogène.
Walsend (Bensham)	77,50	21,10	—	1,30	—
Id. (pipe above ground)	92,80	6,90	0,60	0,30	—
Hebburn (24 feet below Bensham)	91,80	6,70	0,90	0,70	—
Id. (ditto a month after)	92,70	6,40	—	0,90	—
Id. (Bensham)	86,50	11,90	—	1,60	—
Jarrow (Bensham)	83,10	14,20	0,40	2,10	—
Id. (five quarter)	93,40	4,90	—	1,70	—
Id. (low main)	79,70	12.13	3,00	—	3,00
Id. (low main)	70,70	15,30	3,00	2,00	—
Well gate (five quarter seam)	98,20	1,30	—	0,50	—
Cwm turch	19,30	63,80	15,50	0,80	—

M. Turner a donné de son côté une série de résultats (2) dont on remarquera la grande variabilité :

PROVENANCES.	Gaz des marais.	Air.	Excès d'azote.	Acide carbonique.
Walsend (Bensham)	91,0	9,0	—	—
Hutton (Hutton 175 fathoms)	50,0	6,0	44,0	—
— (main 100 fathoms)	50,0	23,0	27,0	—
Jarrow (Bensham)	81,5	18,5	—	—
— (low main)	89,0	11,0	—	—
Killingworth (high main)	85,0	8,0	7,0	—
Burradon	94,0	9,0	—	—
Pensher (Hutton waste 125 fathoms)	7,0	82,0	11,0	—
—	93,0	7,0	—	—
—	28,0	67,5	4,5	—
—	68,0	28,7	—	3,2

M. Bischoff a obtenu les proportions suivantes (3) :

(1) *Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical engineers*, tome XII, pages 190 et 201.

(2) *Philosophical Magazine*, 1839. — *Annales des mines*, 3e série, tome XVII, page 550. — *Transactions of the North*, etc., tome XII, page 201.

(3) BISCHOFF : *Edimburg Journal*, janvier 1841. — RENIER-MALHERBE : *Du grisou*, 1862. — *Transactions of the North*, etc., tome XII, page 201.

PROVENANCES.	Hydrogène proto-carboné.	Hydrogène bicarboné.	Gaz étrangers.
Mine de Gerhardt	79,84	1,90	18,26
Id.	83,08	1,98	14,94
Mine de Wellesweiler	87,43	6,05	6,52
Id.	91,36	6,32	2,32
Puits de Schaumbourg (lias)	79,10	16,11	4,79

Je citerai encore ces deux analyses de M. Graham (1) :

PROVENANCES.	Hydrogène proto-carboné.	Azote.	Oxygène.
Killingworth (low main)	82,50	16,50	—
Gates head (five quarter Seam)	94,20	4,50	1,30

et celles de M. Richardon (2) :

PROVENANCES.	Gaz des marais.	Air.	Azote.	Acide carbonique.
Killingworth (low main)	66,30	23,25	6,32	4,03
Townley (three quarter Seam)	56,17	33,15	4,68	6,00

Les études faites pour la commission par M. Fouqué ont fourni la composition suivante (Anzin, fosse Réussite; profondeur, 350 mètres; distance du puits, 250 mètres) (3):

Hydrogène protocarboné	93,51
Hydrogène	2,24
Acide carbonique	3,97
Oxygène	0,21
Azote	1,07

M. Thomas a accompli sur les houilles du pays de Galles un travail considérable dans lequel il donne ce tableau comparatif (4) :

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XII, p. 201.
(2) *Transactions of the North*, etc., tome XII, p. 201.
(3) Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou, page 75.
(4) M. THOMAS : *Journal of the Chemical Society*, tome XIII, page 820.

PROVENANCE.	Gaz des marais.	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène.	Hydride d'éthyle.
Soufflard.	97,65	1,85	0,50	—	—
Id.	96,74	2,79	0,47	—	—
Id.	94,84	5,06	0,10	—	—
Id.	95,05	0,69	4,26	—	—
Id.	47,37	41,58	0,90	10,15	—
Id.	95,47	3,91	0,62	—	—
Id.	95,51	2,53	1,96	—	—
Id.	94,78	3,60	0,72	—	0,90
Id.	95,56	3,98	0,35	0,11	—
Trou dans la houille.	97,31	2,31	0,38	—	—
Id.	96,54	3,02	0,44	—	—
Id.	74,86	20,30	0,15	4,69	—
Id.	97,37	2,21	0,42	—	—
Id.	95,42	3,98	0,60	—	—

On y peut remarquer la grande abondance de l'hydrogène protocarboné. Parfois, au contraire, il vient à diminuer indéfiniment. Les houilles bitumineuses du sud du pays de Galles, par exemple, surtout celles des couches voisines de la surface, en renferment fort peu, et quelquefois même n'en contiennent pas (1), circonstance très digne de remarque. Au contraire, le grisou des houilles propres aux chaudières à vapeur en présente dans la même contrée jusqu'à 80 p. 100.

9. — M. Thomas a étendu également ses recherches à la composition du gaz retiré de divers combustibles par l'influence combinée du vide et d'une température de 100 degrés (2). Il a, du reste, constaté qu'il n'y a aucune relation directe entre ces résultats et les dégagements spontanés dans le gîte :

(1) M. Thomas, *Journal of the Chemical Society*, page 810.
(2) *Journal of the Chemical Society*, page 812.

NOMBRE de centimètres cubes dégagés à 100° dans le vide.	HOUILLES.	Gaz des marais.	Azote.	Oxygène.	Acide carbonique.
55,9	Bitumineuse.	—	62,78	0,80	36,42
61,2	Id	0,40	80,11	2,72	16,77
55,1	Id	63,76	29,75	1,05	5,44
24,0	Id	2,68	69,07	6,09	22,16
39,7	Id	31,98	56,34	2,25	9,43
73,6	Semi-bitumineuse. . .	72,51	14,51	0,64	12,34
194,8	Houille de chaudière.	87,30	7,33	0,33	5,04
250,1	Id	81,64	4,66	0,49	13,21
218,4	Id	84,22	9,88	0,44	5,46
147,4	Id	67,47	12,61	1,02	18,90
375,4	Id	86,92	3,49	0,34	9,25
149,3	Id	73,47	14,62	0,56	11,35
215,4	Id	82,70	11,12	0,54	5,64
555,5	Anthracite.	93,13	4,25	—	2,62
600,6	Id	84,18	1,10	—	14,72

Je joins à ce tableau cette seconde série (1) du même auteur :

NOMBRE de centimètres cubes dégagés à 100° dans le vide.	HOUILLES.	C^2H^4	C^2H^6	C^3H^8	Az	CO^2
421,3	Cannel de Wigan (350 yards).	80,69	4,75	—	8,12	6,44
350,6	Id. . . . . (600 yards).	77,19	7,80	—	5,96	9,05
16,8	Cannel de Wilsontoun	—	—	—	46,06	53,94
55,7	Cannel de Lesmahago	—	—	0,91	14,54	84,55
55,7	Cannel de Whitehall	—	2,67	—	28,58	68,75
30,2	Jet de Whitby.	—	—	86,90	2,17	10,93

10. — *Produits accessoires.* — Parmi les gaz autres que les carbures d'hydrogène et l'acide carbonique qui contribuent à former avec l'air des mélanges grisouteux, il faut signaler d'une manière spéciale l'hydrogène sulfuré (2). La dissémination dans beaucoup de gîtes de pyrites altérables explique facilement le développement de ce gaz très délétère. La présence du soufre présente, suivant M. Berthelot, une certaine importance, car certains composés de ce métalloïde, s'ils existaient dans le mélange, en pourraient abaisser sensiblement le point d'inflammation. MM. Sarrau et de Castelnau ont signalé le sulfhydrate

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XXVI, page 35.

(2) Par exemple dans la grande couche du sud du Staffordshire (*Transactions of the North*, etc., tome X, page 193); aux Vanneaux, à Wasmer, à Turlupu (PONSON, tome II, page 8), etc.

d'ammoniaque dans les travaux de Sumène (1). M. Munier a reconnu l'hydrogène sulfuré dans les lignites de Forcalquier (2). M. Percy a trouvé dans une houille de l'île de Kerguelen jusqu'à 13 p. 100 de soufre avec très peu de fer, ce qui indiquerait une combinaison à l'état de sulfocarbure plutôt qu'un sulfure ordinaire.

M. Fouqué, dans sa mission à Anzin, a vainement recherché les composés sulfurés, les produits de la série du gaz oléfiant, l'oxyde de carbone et les vapeurs carburées facilement condensables. Des recherches minutieuses de cette nature peuvent présenter beaucoup d'intérêt, et de simples traces avoir une réelle importance. On voit, en effet, sur certains points spéciaux, les mineurs dire que le grisou est *méchant*, ce qui doit probablement tenir à quelques différences de composition non reconnues jusqu'ici.

La décomposition des matières organiques et excrémentitielles laissées dans les remblais vient encore compliquer la composition de l'air qui se dégage des vieux travaux. Elle y introduit des gaz ammoniacaux et des miasmes nuisibles.

Les incendies souterrains fournissent également, outre l'acide carbonique et l'oxyde de carbone, de l'acide sulfureux et les divers produits de la distillation de la houille et des bois de soutènement.

M. Regnard a fait à Commentry une observation singulière qui mérite de fixer l'attention et pourrait devenir le point de départ de recherches intéressantes. Il a constaté, en l'absence des ouvriers, que la proportion d'oxygène diminue sur le parcours du courant, sans être accompagnée d'une production d'acide carbonique correspondante; la différence pouvant atteindre 1 p. 100 sur une longueur

---

(1) *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, janvier 1879, page 6.

(2) *Ibidem*.

qui, du reste, n'a pas été spécifiée dans ces premiers aperçus. De même, une certaine quantité d'air enfermée dans une cavité creusée en plein charbon avait, au bout de vingt-quatre heures, perdu 2 p. 100 d'oxygène.

§ II. — PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

11. — *Solubilité.* — Le gaz des marais est ordinairement considéré comme insoluble dans l'eau, même alcaline. On a cependant appelé tout récemment l'attention sur divers exemples de dissolution du grisou. Un fait remarquable à cet égard a été signalé par M. Chansselle, ingénieur principal des houillères de Saint-Étienne (1). Un fonçage exécuté en 1870 au puits Saint-Louis avait été abandonné, envahi par l'eau sur une hauteur de 17 mètres et repris en 1877. La colonne d'aspiration des pompes d'épuisement venant à s'allonger progressivement, et par suite abaissant de plus en plus la pression, on vit avec surprise le jet d'eau dégager du grisou qui éteignait une lampe Mueseler et prenait feu en donnant une grande flamme. Celle-ci accompagnait l'eau dans son mouvement comme lorsqu'on agite un bol de punch. L'épuisement ayant été achevé, on a pu constater, d'après l'inspection des parois, que la partie supérieure de cette cavité n'avait pas été noyée et avait dû, par suite, rester remplie d'air et de grisou sous la pression effective de 17 mètres d'eau, c'est-à-dire à la pression réelle de $2^{atm},7$ qui avait pu faciliter la dissolution du gaz. M. Chansselle a estimé à 2 ou 3 centièmes environ du volume de l'eau celui du gaz dégagé, sans toutefois donner cette appréciation comme complète, puisque l'eau pouvait encore rester chargée de gaz.

---

(1) *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, septembre 1877, page 6.

M. Chavatte, directeur de Crespin-lès-Anzin (1), a fait exécuter à Quiévrechain un sondage qui, à partir de 300 mètres, a donné des traces évidentes de grisou. Quand on remontait les cuillers, les matières commençaient à bouillonner au bout de quelques instants, ce qui représentait environ six minutes à partir de leur départ du fond. On pouvait, en allumant ce gaz, obtenir des flammes de $0^m,30$ de hauteur.

Ce fait est également bien connu à Bessèges. Lorsqu'on perce aux eaux, dans un milieu grisouteux, sous une grande pression, on prend à cet égard des précautions spéciales qui sont prévues par le règlement (2).

A défaut de dissolvants liquides bien caractérisés, Alloys Wehrle a signalé la condensation de l'hydrogène protocarboné par l'éponge de platine. Il a annoncé que, l'oxygène jouissant de la même propriété, les deux gaz mis en présence dans cet état particulier se combinent en dégageant assez de chaleur pour rougir la mousse de platine. Nous verrons plus loin que M. Trasenster, en voulant contrôler l'efficacité de ce moyen de destruction du grisou, en a reconnu l'inanité (3).

12. — *Affinités.* — Le gaz des marais est du reste un corps neutre qui présente peu d'affinités bien marquées. On peut toutefois faire une première exception pour le chlore, mais il paraît impossible d'y baser un moyen sérieux de combattre son développement dans les mines. Je citerai pourtant plus loin (p. 313) une proposition qui a été formulée dans ce but.

---

(1) *Comptes rendus mensuels*, avril 1879, page 35. — Pièces annexées aux procès-verbaux de la commission, page 65.

(2) Carnet du règlement pour employé des mines de Bessèges, page 18.

(3) Emploi de l'éponge de platine pour la combustion du grisou (*Annales des travaux publics de Belgique*, tome VII, page 179).

La seule affinité vraiment importante du grisou est celle qu'il présente pour l'oxygène, et elle constitue précisément la source du danger qu'il fait courir aux exploitations houillères. L'hydrogène protocarboné est en effet un corps combustible dont les deux éléments sont susceptibles de s'unir avec l'oxygène pour former de l'eau et de l'acide carbonique. Un volume de gaz mis en rapport dans des conditions convenables avec deux volumes d'oxygène produit deux volumes de vapeur d'eau, qui se condensent, et un volume d'acide carbonique. On voit donc que la combustion du grisou fait disparaître, après le refroidissement, un volume double de celui qu'il occupait dans l'atmosphère avec un excès d'oxygène.

Cette combinaison peut du reste avoir lieu de deux manières bien différentes : avec une flamme bleue légère et transparente, ou avec une violente explosion. Le premier mode se présentera si l'on a un simple bec débitant du gaz. M. Gruner fait remarquer toutefois que la nuance bleue appartient en propre au mélange préalablement effectué de grisou et d'air. Si, au contraire, du grisou pur brûle au contact d'une masse d'air distincte, la flamme sera blanche. Ce fait correspond à un degré de combustion plus ou moins complète, et qui saisit le carbone directement ou en laisse un instant les particules en ignition après la décomposition de l'hydrogène carboné précédant l'oxydation intégrale de ses éléments. L'auteur rapporte à ce sujet une très intéressante observation qu'il a faite à Saint-Étienne, à l'époque où le *pénitent* enflammait encore le gaz au plafond des galeries. M. Gruner, ayant voulu se rendre compte par lui-même de ces redoutables fonctions, vit des nappes blanches de feu courir au toit des ouvrages.

Au lieu d'une combustion tranquille, il se produit une détonation, si une atmosphère formée de grisou et d'air préalablement mélangés en proportions convenables subit le contact, non pas seulement d'un corps solide incandes-

cent, qui ne suffirait pas en général pour déterminer l'explosion, mais d'une flamme gazeuse. Ces proportions ont été étudiées depuis longtemps par Davy. Si la quantité de grisou n'atteint pas 3 à 4 centièmes, on n'observe rien de spécial. Pour cette proportion, la flamme commence à *marquer*, suivant l'expression des mineurs; c'est-à-dire qu'elle s'environne d'une auréole bleuâtre en même temps qu'elle s'allonge et devient fuligineuse. A 6 p. 100, la flamme est devenue très longue et l'auréole très épanouie; à 7 ou 8 centièmes, l'inflammation se propage avec une certaine lenteur dans la masse. Aussi voit-on parfois le feu courir au faîte des galeries comme une traînée de poudre, menaçant d'une catastrophe, s'il vient à rencontrer des régions où la proportion soit encore plus élevée. L'explosion est alors instantanée et c'est vers 12 à 14 p. 100 qu'elle atteint le maximum d'énergie. Au delà on parcourt en sens inverse une série d'effets analogues. Vers 20 centièmes on se trouve à peu près dans les mêmes conditions qu'à 6 p. 100, et à 30 centièmes la lampe s'éteint. Il est inutile de rappeler que ces circonstances ne peuvent être étudiées qu'avec la lampe de sûreté (1).

L'explosion peut parfois être empêchée par une certaine dose d'acide carbonique. M. Malherbe indique comme suffisante à cet égard la proportion de un septième (2).

L'étude de la dimension des flammes a été faite avec un grand soin par M. Galloway (3). Ses descriptions sont trop développées pour pouvoir être reproduites ici. Je me contenterai de dire que le savant auteur a résumé ses résultats à l'aide d'un tracé graphique, en portant en abscisses le nombre de volumes d'air associés à un volume de grisou,

---

(1) Callon : *Cours d'exploitation des mines*, tome II, page [illegible].
(2) Renier-Malherbe : *Du grisou*, 1862.
(3) *De l'influence de la poussière de charbon dans les explosions de grisou.*

et en ordonnée la hauteur absolue des auréoles correspondantes. Cette courbe présente une ressemblance frappante avec l'hyperbole équilatère.

L'explosion du grisou peut aussi être déterminée par l'étincelle électrique. M. Coquillon a étudié ce phénomène dans l'eudiomètre et a indiqué les résultats suivants (1). Si un volume de grisou est mélangé avec 5 volumes d'air ou au-dessous, on observe une étincelle bleuâtre sans détonation. Pour 6 volumes d'air on commence à avoir une série de petites saccades explosives. De 7 à 9 l'explosion a lieu nettement avec un petit bruit sec. Au contraire, avec cette proportion, une allumette enflamme le gaz sans détonation sensible. Pour 12 à 15 volumes, il y a encore une explosion qui va en s'affaiblissant, et à 16 volumes on n'a plus que de petites commotions intermittentes.

12. — *Vitesse d'inflammation.* — M. Mallard, ingénieur en chef des mines, a publié dans les *Annales des mines* (2) un savant mémoire sur la vitesse d'inflammation du grisou. Il y emprunte à la fois le secours de l'expérience et de l'analyse. Ce n'est pas ici le lieu de reproduire ses calculs; je me contenterai de citer les principaux résultats obtenus. Les vitesses d'inflammation ont été mesurées pour divers mélanges d'air et de grisou en déterminant dans des tubes des vitesses suffisantes pour que la tranche lumineuse paraisse stationnaire, d'après une méthode déjà employée par MM. Schlœsing et Demondésir ainsi que par M. Bunsen. M. Mallard a trouvé ainsi les nombres suivants :

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (9 octobre 1876).
(2) 7e série, tome VII, page 355.

VOLUME DE GRISOU contenu dans un volume de mélange.	VOLUME DE GRISOU correspondant à un volume d'air.	VITESSE D'INFLAMMATION en mètres, par seconde.
0,079	0,086	0^m,041
0,093	0,103	0^m,325
0,103	0,115	0^m,505
0,106	0,120	0^m,550
0,113	0,127	0^m,524
0,115	0,130	0^m,515
0,118	0,134	0^m,440
0,123	0,140	0^m,375
.138	0,161	0^m,139

a courbe fournie par ces valeurs présente un maximum ont la valeur paraît être 0^m,56 par seconde et correspondre à une proportion de 0,108 de grisou dans un volume de mélange. De part et d'autre de ce point on voit la vitesse tomber rapidement jusqu'à devenir inappréciable pour 0,077 comme pour 0,145 de grisou renfermé dans un volume de mélange. Au delà de ces points, le gaz n'est plus ni explosible ni inflammable.

De nouvelles expériences reprises à la demande de la commission du grisou, par MM. Mallard et Le Châtelier, ont précisé davantage ces chiffres et indiqué 0^m,62 comme la vitesse d'inflammation maximum, correspondant à un mélange de 12,10 de grisou avec 100 parties d'air (1).

Il est bien nécessaire de ne pas confondre la vitesse d'*inflammation* avec celle de *propagation* du coup de feu. Celle-ci dépendra en partie de la vitesse du courant d'air préexistant dans les travaux et en outre de la poussée énorme qui est produite par l'expansion du gaz ainsi porté subitement à une température élevée. On a souvent énoncé que la propagation d'un coup de grisou a une tendance plus prononcée à remonter qu'à descendre le courant de la ventilation. M. Mallard conclut que, pour une explosion faible et locale, l'inflammation ne pourra arriver à remonter le courant, s'il a une vitesse supérieure au maximum précédent, c'est-à-dire environ 0^m,60. Au contraire, pour

(1) Pièces annexées aux procès-verbaux, page 68.

une explosion violente et générale, l'influence de cet entraînement sera à peu près inappréciable.

Les vitesses d'inflammation sont d'ailleurs différentes pour les divers gaz. Avec celui de l'éclairage, M. Mallard a obtenu une courbe analogue à la précédente indiquant des vitesses plus grandes que celles qu'il observe avec le grisou (1). Celle d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène est encore beaucoup plus élevée et peut atteindre 34 mètres, d'après M. Bunsen (2).

14. — *Température d'inflammation.* — La température d'inflammation est elle-même variable d'un gaz à l'autre. M. le professeur Frankland a fait remarquer (3) qu'elle est pour le grisou plus élevée que pour les mélanges correspondants formés avec le gaz de l'éclairage. D'où il suit que les lampes de sûreté suffisantes pour les mines présentent moins de garanties dans les milieux envahis par le gaz de l'éclairage.

La question a été reprise par la commission et MM. Mallard et Le Châtelier ont déterminé expérimentalement les températures de combustion des gaz suivants :

Hydrogène bicarboné	550	degrés.
Hydrogène	580	—
Oxyde de carbone	650	—
Hydrogène protocarboné	780	—

Cette température reste la même pour les mélanges d'un même gaz avec l'air et l'oxygène en toute proportion.

La présence de l'acide carbonique élève d'une façon notable la température de combustion du mélange d'oxyde de carbone. La combinaison de ce dernier gaz avec l'oxygène commence du reste à des points inférieurs à celui

(1) Mémoire cité, page 365.
(2) *Ibidem*, page 373.
(3) *Journal of the chemical Society*, 1863, page 398.

qui vient d'être cité; à 450° déjà l'effet se produit avec une vitesse très appréciable. Dans ces conditions la combustion a lieu lentement et sans flamme. Déjà du reste les mélanges d'air et d'oxyde de carbone avaient fait l'objet de quelques recherches (1).

15. — *Pression d'inflammation.* — MM. Mallard et Le Châtelier ont de même porté leur attention sur la pression développée par la détonation d'un mélange d'air et de grisou. Ils ont obtenu les résultats suivants, qu'ils ne présentent toutefois encore que comme provisoires :

PROPORTION DE GRISOU en centièmes.	PRESSION en atmosphères.
7,5	4,5
8,1	5,2
9,3	5,9
10,4	6,0
17,0	5,0

Le maximum paraît être de 6,5 atmosphères. Cette donnée a une grande valeur pour permettre d'évaluer la résistance que doivent offrir les portes d'aérage en vue de leur résistance à un coup de feu (n° 72).

M. Thénard a eu occasion dans ses expériences d'observer des dilatations atteignant 7 à 8 fois le volume primitif. Avec des mélanges plus explosifs et des parois moins réfrigérantes, l'effet doit être encore plus prononcé.

§ III. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

16. — *Densité.* — La densité de l'hydrogène protocarboné pur 0,558 donne une limite inférieure de celle du grisou. Cette dernière en reste en général assez rapprochée, à moins que l'hydrogène bicarboné (0,971) et surtout l'acide carbonique (1,529) ne prennent une grande

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XII, page 202.

importance dans le mélange. Des mesures directes ont d'ailleurs fourni à divers expérimentateurs les résultats suivants (1) :

HOUILLÈRES.	DENSITÉS.	OBSERVATEURS :
Gateshead, five quarter seam.	0,5802	Graham.
Burradon, Jard coal.	0,6000	Turner.
Walsend, Bensham.	0,6024	Id.
Killingworth, high main.	0,6196	Id.
Jarrow, low main.	0,6209	Id.
Hebburn, Bensham.	0,6327	Graham.
Jarrow, Bensham.	0,6381	Turner.
Killingworth.	0,6386	Graham.
Hetton, hutton 175 fathoms	0,7470	Turner.
Hetton, main 100 fathoms.	0,7800	Id.
Killingworth.	0,8226	Id.
Pensher, Hutton waste 125 fathoms.	0,9660	Id.

D'après la légèreté spécifique que présente ordinairement le grisou, si l'on considère une cavité dans laquelle aucune cause ne vienne brasser l'atmosphère, le gaz, au lieu de s'étaler en nappe à la sole de la galerie, comme le fait l'acide carbonique, se rendra directement à la partie supérieure, qu'il occupera presque à l'état de pureté. Puis, par la tendance à la diffusion qui est inhérente aux fluides aériformes, il se stratifiera en couches présentant tous les degrés de teneur en carbures jusqu'au niveau du sol où se trouvera l'air le plus pur.

On a agité la question de savoir si, après que le mélange du grisou avec l'air est effectué, il peut s'opérer une liquation qui rétablisse la stratification dont nous venons de parler. L'opinion la plus accréditée est contraire à cette manière de voir. Elle a cependant trouvé des défenseurs et certains faits ont été présentés à l'appui (2). Mais des expériences spéciales entreprises par MM. Mallard et Le Châtelier, pour répondre à la demande de la commission, ont constaté que les deux gaz une fois mélangés ne se séparent plus (3).

---

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XII, page 201.

(2) *Bulletin de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, 2e série, tome IV, page 25.

(3) Pièces annexées aux procès-verbaux, page 66.

17. — *Action sur l'organisme.* — Le gaz des marais est incolore. En l'absence de mesures précises, il y a lieu de penser que son pouvoir réfringent est sensiblement différent de celui de l'air. Telle est du moins l'explication qui a été donnée de certaines apparences signalées depuis longtemps, analogues à des fils de la vierge ou des toiles d'araignées. Elles seraient dues aux petits filets gazeux qui s'échappent du charbon en gagnant directement le toit sans se mélanger à l'air et qui occasionneraient ainsi une déviation dans le trajet des rayons lumineux (1).

D'autres auteurs ont expliqué ces mêmes apparences par des précipitations de vapeur d'eau dues au refroidissement produit par la détente du gaz qui quitte une pression assez élevée dans la houille pour retomber à celle de l'atmosphère.

L'hydrogène protocarboné est ordinairement inodore et insapide. Parfois on trouve au grisou un léger goût de pomme. Dans certains cas il prend une odeur fétide pour les causes que nous avons énumérées ci-dessus (n° **10**). Il produit quelquefois un léger picotement aux yeux.

Il n'est pas toxique ; mais il devient asphyxiant, si sa proportion atteint le tiers environ du volume du mélange respiré (2). Avec les conditions ordinaires de l'aérage, cette circonstance ne peut se présenter que d'une manière tout à fait exceptionnelle. Au siècle dernier, au contraire, elle constituait un danger spécial pour le mineur. Jars rapporte, dans ses *Voyages métallurgiques*, que, dans les houillères de Whitehaven, il ne se passait pour ainsi dire pas de semaine sans un cas d'asphyxie. Les hommes n'y travaillaient jamais seuls et devaient périodiquement s'appeler et se répondre.

---

(1) Dumas : *Chimie industrielle*, tome I, page 468.
(2) Combes : *Traité d'exploitation des mines*, tome II, page 302.

M. Chansselle cite un exemple d'asphyxie par le grisou qu'il a observé sur lui-même. Ayant exploré le sommet d'un montage, il fut pris d'un anéantissement subit et roula jusqu'au bas, où il resta pendant cinq minutes sans connaissance. Cette défaillance ne fut, du reste, précédée ni suivie d'aucune douleur, tandis qu'un autre cas d'asphyxie par des gaz d'incendie souterrain laissèrent à l'auteur des céphalalgies violentes dues sans aucun doute à l'oxyde de carbone.

Il est bon de faire remarquer que l'asphyxie par le grisou présente une circonstance plus favorable que celle qui est due à l'acide carbonique. Avec ce dernier, l'homme qui tombe est perdu, car il reste couché dans la partie de l'atmosphère qui présente la plus grande teneur en gaz. Au contraire, pour le cas du grisou, l'évanouissement le laisse étendu dans la région la plus favorable sous le rapport de la composition de l'air.

Il y a lieu du reste d'ajouter avec M. Paul Bert que les effets asphyxiants sont absolument les mêmes pour un air simplement désoxygéné au delà d'une certaine proportion, ce qui peut quelquefois faire illusion sur la nature de la cause. M. Félix Leblanc, dans les mines de plomb argentifère de Poullaouen, est tombé foudroyé au moment où il engageait la tête dans une cavité renfermant un air ainsi altéré, mais certainement exempt de grisou. Il n'a repris connaissance qu'au bout de quelques minutes.

§ IV. — PRESSION ET DÉGAGEMENT DU GRISOU.

18. — *Dégagements instantanés.* — Bien que, dans l'opinion de la très grande majorité des praticiens, le grisou préexiste à l'état gazeux, enfermé sous une pression plus ou moins élevée dans les pores du massif de charbon ou des roches encaissantes, je ne saurais passer sous silence la

manière de voir d'un certain nombre d'ingénieurs (1) qui inclinent à le considérer comme le produit de la dissociation au dernier moment de composés liquides ou même solides très volatils qui seraient contenus dans la houille. Cette hypothèse ne s'appuie pas jusqu'ici sur des faits chimiques scientifiquement constatés dans le laboratoire. Toutefois, M. G. Arnould, ingénieur principal du corps des mines de Belgique, cite à l'appui de cette opinion les observations suivantes (2).

En premier lieu : les cas de solubilité du grisou dans l'eau dont il a été question ci-dessus et qui paraissent incompatibles avec les propriétés du gaz des marais. En outre, la présence de certains hydrocarbures dans les cellules de la houille a été démontrée par MM. Johnston et Hutton (3). Franz Schulze y a trouvé une grande quantité d'une matière brunâtre qui empêchait de prime abord de reconnaître la structure du minéral (4). Dans les rognons de sidérose, outre la hatchettine que parfois on y rencontre, on remarque assez souvent dans la cavité centrale une huile très volatile qui, au contact du feu, donne lieu à une grande flamme (5). On observe quelquefois dans les mines très grisouteuses que le charbon présente au moment de l'abatage un aspect gras et luisant qu'il perd presqu'aussitôt. Les houilles grisouteuses et particulièrement les charbons gras perdent également assez vite leur propriété agglutinante par l'exposition à l'air.

Les redoutables dégagements instantanés que l'on ob-

(1) Par exemple, M. Philippe COOPER, en 1868 (Dombre, *le Grisou*, page 13).

(2) G. ARNOULD : *Étude sur les dégagements instantanés du grisou*. Bruxelles, 1879, page 7.

(3) *London and Edimburg Philosophical Magazine*, 1833.

(4) *Monatsberichte der Berliner Akademie*, 1855.

(5) Notice de M. Chandelon (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, tome V, n° 10).

serve de plus en plus fréquemment dans le couchant de Mons tendraient surtout à corroborer cette hypothèse. Ces phénomènes extraordinaires, déjà signalés par M. Devaux (1) ont été décrits avec le plus grand soin par M. G. Arnoult (2). On les trouve toujours en relation avec la présence dans le gîte d'une variété de combustible que l'on nomme en Belgique *houille daloïde*. Cette substance noire, fibreuse et pulvérulente, appelée fusain à Saint-Étienne, n'est autre que du charbon de bois ayant conservé sa structure et appartenant, soit à des fougères arborescentes, soit à des sigillaires ou à des cordaïtes. Dans la houille grasse la masse est souvent divisée par un assez grand nombre de mises de charbon daloïde; elle donne alors plus de poussière et de menu. Ces accidents, inconnus avant 1847, même quand on remonte par les documents administratifs jusqu'à 1818, deviennent plus fréquents d'année en année, et paraissent croître d'importance avec la profondeur. On n'en a observé aucun au-dessus de 280 mètres. Le plus grand nombre s'est produit entre 350 et 500 mètres, mais il ne faut sans doute pas voir là un véritable maximum, car le nombre des exploitations diminue ensuite rapidement, quand on envisage des profondeurs plus grandes. L'explosion a toujours été accompagnée de la projection d'une grande quantité de charbon menu. Ce dernier encombrait parfois les galeries sur 40 mètres de longueur et on a vu son volume atteindre jusqu'à 420 mètres cubes. Quelquefois la durée du dégagement, au lieu d'être instantanée, devient plus appréciable. Assez souvent le phénomène s'est accompagné d'un refroidissement intense

---

(1) *Revue universelle des mines et des usines de Cuyper*, tome IX.

(2) G. Arnoult : *Étude sur les dégagements instantanés de grisou dans les mines de houille du bassin belge* (Bruxelles, 1879). Dès 1863, cet habile ingénieur avait mis en avant l'hypothèse qui nous occupe. (Cornet : *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, tome XLVII, mai 1879).

et le charbon pulvérulent était retrouvé *froid comme glace*, même au bout d'un certain temps.

Cette dernière circonstance tendrait à répondre à l'une des objections que l'on a élevées contre l'hypothèse de l'état non gazeux du grisou, à savoir l'énorme refroidissement qui semblerait devoir accompagner la volatilisation de pareilles quantités de matière. Mais du reste M. l'ingénieur des mines Vicaire a fait observer que certaines substances, dont les plus caractéristiques prennent le nom d'explosifs, au lieu de produire du froid par leur gazéification, développent au contraire une énorme quantité de chaleur. M. Vicaire ne serait même pas éloigné de croire *à priori* que certaines houilles peuvent se rapprocher plutôt de cette nature. Il fonde cette opinion sur ce que leur combustion donne plus de chaleur que n'en peut produire un poids égal de carbone et d'hydrogène. Il rappelle aussi qu'à Saint-Étienne on a vu des cylindres de houille comprimée et chauffée pour la production des agglomérés devenir d'eux-mêmes subitement incandescents, lorsque leur température atteignait progressivement un degré déterminé.

19. — ***Pression dans la houille.*** — Quoi qu'il en soit de cette manière de voir, il est certain que le gaz sort du massif avec tous les indices d'une pression en général sensible et qui parfois peut devenir énorme. Lorsque le dégagement du grisou est un peu abondant à un front de taille, une oreille attentive le perçoit facilement par un petit bruissement particulier que les mineurs appellent le *chant du grisou*. On dit aussi que le gaz *frise*. On peut comparer ce bruit à celui de la pluie ou encore d'une bouilloire pendant les instants qui précèdent la mise en train de l'ébullition.

Ce phénomène est produit par le décrépitement d'une multitude de parcelles de houille détachées par la pression

des bulles de gaz qui tendent à s'échapper des pores du combustible. Cette circonstance est analogue à ce qui se passe lors de la dissolution du sel gemme dans l'eau. Ce minéral renferme lui-même un gaz à peu près identique au grisou de la houille, et lorsque l'épaisseur des parois vient à s'affaiblir au point de ne pouvoir résister à la pression intérieure, celle-ci fait éclater cette paroi.

D'autres indices mettent d'ailleurs en évidence la pression du grisou. On voit certaines houillères dont les fronts de taille se gonflent, se gauchissent et éclatent ou s'exfolient. Parfois les piqueurs établissent pour la nuit un troussage avec des étais et des planches pour éviter que le gonflement ne fasse éclater la houille en petits morceaux (1). Dans certaines exploitations du Borinage, les ouvriers s'abstiennent de hâver sous le charbon, pour ne pas offrir une surface de plus à l'issue du gaz. Ils aiment mieux le garder comme auxiliaire en attaquant en face un front de taille qu'il tend par derrière à pousser au vide. M. Goret a constaté, en 1862, à la mine de Boubier, près Charleroi, un éboulement de 40 mètres cubes de charbon qu'il a regardé comme produit par le grisou (2). On ne saurait trop insister sur ce genre de danger, car si le grisou a la puissance de produire de tels effets, il met subitement à nu par l'éboulement et la fragmentation qui en est la conséquence une surface énorme qui répandra une quantité de gaz d'autant plus abondante que la pression était plus forte. On pourrait dire en quelque sorte, pour rendre la pensée, que l'effet nuisible instantanément développé sera en raison du carré de cette pression.

M. Chansselle, ayant entrepris en 1867 de maintenir par un radier de $0^m,60$ d'épaisseur une sole grisouteuse, a vu

(1) Renier-Malherbe : *Du Grisou*, 1862.

(2) A. Burat : *Encyclopédie des sciences, des lettres et des arts*, page 206.

cette maçonnerie se désorganiser sous la pression et donner passage à des torrents de gaz.

Je rattacherai en passant à cette indication une opinion bizarre mais très enracinée chez les mineurs belges. Elle consiste en ce que la présence du grisou dans le chantier rendrait l'abatage plus facile. L'opiniâtreté des piqueurs est telle à cet égard, qu'on les voit parfois, quand ils ne sont pas suffisamment surveillés, arrêter le courant d'air afin de se procurer ce prétendu secours (1). Je serais tenté de croire que ce préjugé tient à la concomitance toute naturelle d'une plus grande viciation de l'air et de la grande pression intérieure capable d'exercer la poussée dont il vient d'être question.

Dans le bassin de Brassac, on est surtout gêné par l'acide carbonique plus que par le grisou, mais la question reste la même. On y observe des effets de projection très marqués. Ils avaient été déjà signalés dans le siècle dernier, et Lemonnier, membre de l'ancienne Académie des sciences, décrivait la *pousse* de Brassac dans des termes qui présentent encore aujourd'hui beaucoup d'intérêt pour celui qui connaît ce gîte (2). L'explosion d'acide carbonique de Rochebelle en 1879 (3) et certaines observations analogues de M. l'inspecteur général Tournaire dans le terrain tertiaire d'Auvergne peuvent être rattachées à cet ordre de faits.

Pour revenir au grisou, M. de Marsilly, dans sa remarquable série d'expériences comparatives sur les houilles (4), a vu souvent celles-ci dégager deux ou trois fois leur volume de gaz. D'après la loi de Mariotte, ce dernier s'y se-

(1) Demanet : *Cours d'exploitation des mines de houille*, tome I, page 57.

(2) *Anciens minéralogistes du royaume de France*, recueillis par Gobet, tome II, page 518.

(3) Delesse : *Compte rendu mensuel*, novembre 1879, pages 242, 265, 288. — *Bulletin de la Société d'encouragement*, tome VII, page 142.

(4) *Annales des mines*, 3e série, tome XII, page 356.

rait donc trouvé soumis à une pression de deux ou trois atmosphères, en calculant comme s'il eût rempli exactement le volume du combustible. Mais comme il n'en occupait au contraire que les pores, on voit que sa pression devait être encore plus considérable, dans une proportion qu'il est d'ailleurs impossible de préciser.

M. de Marsilly a également reconnu (1) qu'une pression de cinq atmosphères exercée sur la surface de la houille n'empêchait pas le dégagement du grisou, bien qu'il y ait lieu de croire qu'elle en ralentissait l'activité.

On voit également que l'inondation d'étages inférieurs, quoique diminuant probablement les écoulements gazeux, ne saurait leur opposer un obstacle absolu. Le gaz se dégage alors en bulles à travers l'eau et forme parfois des bouillards tumultueux. Dans le lit de la Susquehanna, près de Wilkesbarre, en Pensylvanie, se trouve au-dessus d'un gîte d'anthracite un abondant dégagement de grisou qui, depuis de nombreuses années, n'a cessé de produire en cet endroit un fort bouillonnement (2). Combes a signalé également un soufflard de grisou qui s'est frayé pendant fort longtemps un passage à Firminy à travers une colonne d'eau de 12 mètres de hauteur (3).

Renier-Malherbe cite (4) des forages de trous de mines d'où le grisou s'échappait avec un bruit qui rappelait la décharge d'une chaudière à vapeur. Sa pression semble, du reste, d'une manière générale, croître avec la profondeur (5). On en a constaté dans le flénu qui atteignait le chiffre formidable de seize atmosphères (6).

---

(1) *Annales des mines*, 3e série, tome XII, page 559.

(2) SAUVAGE : *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 225.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1836, 1er semestre, page 509.

(4) RENIER-MALHERBE : *Le Grisou*, page 78.

(5) DEVAUX : *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XXIII, 1866.

(6) CORNET : *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. XLVII, mai 1879. — *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, p. 1[illegible]5.

Cette tension du gaz dans les pores de la houille tient à la fois, d'une part aux conditions contemporaines de sa formation, et en outre aux pressions subies ultérieurement par le gîte de la part des terrains superposés. Le premier ensemble de causes a dû agir d'une manière assez uniforme, au moins dans un même gîte. Toutefois d'une formation à l'autre on observe des différences générales. Il est reconnu par exemple que les charbons gras à coke ou à gaz sont ordinairement les plus riches en grisou, et les anthracites beaucoup moins, bien que celles de Pensylvanie, par exemple, et de Graissessac-ouest en renferment fréquemment (1). M. Malherbe n'admet pourtant pas qu'il y ait une relation entre ces deux caractères.

Mais l'influence des couches supérieures s'est au contraire exercée de la manière la plus variable. Suivant que le toit s'est trouvé étanche ou perméable, suivant qu'il est resté intact ou qu'il a été très fissuré par les soulèvements successifs, le gaz a dû rester emprisonné ou s'écouler depuis longtemps au dehors.

20. — *Sacs de grisou.* — Parfois cette déperdition aura eu lieu à l'air libre. D'autres fois il y a eu un simple extravasement du gaz dans un toit poreux qui en est resté imprégné. Il arrive en effet que certains ouvrages au rocher dégagent du grisou et occasionnent des accidents tout comme le combustible lui-même. D'autres fois enfin des cavités naturelles, très habituellement des failles, ont reçu ces dépôts funestes auxquels on donne le nom de *sacs de grisou.*

Ces gisements gazeux se trouvent de préférence au toit. Cependant le mur lui-même peut s'en trouver rempli, ce qui place alors l'exploitation dans des conditions encore plus fâcheuses (2). Dans la houillière de Straffordmain

(1) SAUVAGE : *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 225.

(2) M. MILLER : *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 23.

(Yorkshire) un abondant dégagement venu du mur en 1867 éteignit toutes les lampes et il fallut six heures pour assainir la mine (1). A Nutbrook (Derbyshire), on rencontre dans le mur des venues de grisou qui ont plusieurs fois donné lieu à des accidents mortels (2).

Suivant M. Devaux, les sacs de grisou se trouvent surtout aux crochons et aux changements brusques de pente. Leur peu de volume les expose parfois à être manqués par les sondages dont on fait précéder les avancements suspects, de sorte que ce moyen, si précieux du reste, doit être considéré comme ne présentant qu'une demi-sécurité (3).

Certains grès contiennent assez de gaz pour déterminer l'éboulement des parois non muraillées dans les puits. Le grisou peut même se répandre jusqu'à la surface de la terre. A Liége, en 1857 et en 1859, la température du sol s'est élevée sur un certain point jusqu'à 50 degrés par une combustion lente du grisou (4).

21. — *Soufflards.* — On appelle *soufflard* une sorte de fontaine de gaz dont la durée, parfois éphémère, peut aussi se compter par mois et par années. A la houillère Tyne on a eu pendant un an un soufflard qui débitait de 168 à 196 mètres cubes par minute (5). A Wellesweiler (Sarrebruck) un certain soufflard a duré pendant une cinquantaine d'années (6). On en a même, à diverses époques, capté pour l'éclairage, et Jars cite dans le siècle dernier un phare de la côte de Whitehaven qui était alimenté par le grisou des

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XVII, page 43.

(2) M. Woodhouse : *Transactions of the North*, etc., tome X, page 126.

(3) Dombre : *Le Grisou*, page 17.

(4) Renier-Malherbe, *Le Grisou.*

(5) Conférence de T. Wills à la Société des arts de Londres. *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VII, p. 62.

(6) Renier-Malherbe : *Le Grisou*, page 80.

mines (1). Le village de Fredonia, près de Buffalo, était, vers 1830, éclairé par une source de gaz provenant d'une couche de houille (2). Georges Stephenson, de 1831 à 1835, a éclairé la surface de la mine de Wilmington avec le gaz d'un soufflard capté dans l'intérieur (3). On voit encore en Angleterre des exemples analogues.

La pression des soufflards, plus facile à mesurer directement que celle du gaz emprisonné dans la houille, a été trouvée parfois égale à plusieurs atmosphères. On a rencontré dans une houillère de Saint-Étienne une faille remplie de grisou qui donnait lieu à des explosions analogues à celles de pétards.

La rencontre fortuite des soufflards constitue un danger spécial à ajouter à ceux du régime normal du grisou. Ses conséquences dépendent, dans une certaine mesure, du mode de l'éclairage. Une invasion inattendue dans une mine ordinairement exempte de grisou et par suite éclairée avec des lampes à feu nu produira immédiatement une inflammation de nature tout au plus à brûler quelques hommes, après quoi le soufflard pourra se comporter comme un bec de gaz allumé, exposant seulement au danger d'incendie, auquel on aura ordinairement le temps de porter remède. Si, au contraire, le chantier est muni de lampes de sûreté, le grisou pourra s'y répandre d'une manière fallacieuse et le remplir sur une grande étendue. Alors la moindre imprudence risquera de provoquer une catastrophe générale (4). Il n'est pas nécessaire, je pense, d'ajouter que dans l'esprit de ses auteurs cette opinion est bien loin d'impliquer aucune infériorité de la lampe de sûreté sur les feux

(1) Jars : *Voyages métallurgiques.*
(2) *Journal de Silliman*, tome X, page 399.
(3) *Reports on Accidents of mines*, page 110.
(4) *Annales des mines*, 5ᵉ série, tome XI, page 218. — Galloway : *Connexion between colliery explosions and weather.* — Faye : *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, p. 480.

nus. Il serait peut-être même fâcheux, d'après une remarque de MM. Aguillon et Murgue, de lui attacher trop d'importance. En effet, le piqueur n'est que trop tenté de se négliger dans sa vigilance et de rejeter après coup l'accident sur le fait de quelque invasion subite que rien n'aurait pu faire prévoir quelques instants auparavant.

Outre les cavités naturelles et celles que fournissent souvent des travaux très anciens et complètement oubliés, il y a lieu de tenir compte des vides produits par l'exploitation courante et qui peuvent constituer également des nids de grisou. Ils peuvent exercer en effet une influence de la plus grande importance. Mais elle se relie immédiatement à celle des variations barométriques, et nous traiterons les deux sujets ensemble.

22. — *Dégagement spontané du grisou hors du massif.* — On admet unanimement que la majeure partie du gaz renfermé dans le massif s'écoule dans les premiers moments qui suivent la mise à vif des surfaces; qu'au bout de quelques heures (1), au premier effet produit succède un régime moins abondant qui se prolonge en diminuant progressivement pendant un temps plus ou moins long, au bout duquel le dégagement d'une masse convenablement dénudée est absolument terminé. On a remarqué, par exemple, que certains traçages très grisouteux sont suivis de périodes de dépilage qui ne donnent plus de gaz (2). De même on observe souvent au moment de l'abatage un allongement soutenu de la flamme des lampes qui doit porter alors à beaucoup de prudence dans cette opération (3).

---

(1) M. Thomas indique le chiffre de trois heures comme produisant la plus grande partie du dégagement (*Journal Chemical Society*, tome XIII, page 796).

(2) SOULARY : *Annales des mines*, 7e série, tome XI, page 250.

(3) MARSAUT : Pièces annexées aux procès-verbaux, page 39.

Parfois, la durée de la seconde période est très courte. M. de Marsilly a en effet constaté que certains charbons qui, exposés pendant douze heures sous une cloche, y dégageaient une atmosphère très inflammable, ne donnaient plus rien à froid après plusieurs jours d'exposition à l'air (1). D'autres fois, elle est beaucoup plus longue, comme le prouvent par exemple les dégagements de gaz explosibles qui se produisent dans les soutes des navires. Les industriels savent également très bien que certaines houilles perdent, par l'exposition à l'air, une partie de leur pouvoir calorifique. M. Bishof a constaté, par exemple (2), qu'un tas de lignite de $2^m,50$ de hauteur, laissé à l'air pendant cinq ans, avait perdu 12,5 p. 100 de son pouvoir calorifique. De plus, sa composition s'était modifiée de la manière suivante :

		CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.	CENDRES.
Composition primitive		58,94	5,70	22,60	12,76
Composition modifiée	en haut	52,65	4,76	24,75	17,82
	au milieu	55,61	4,96	24,08	15,23
	en bas	55,85	5,02	23,95	15,18

22. — *Influence de la chaleur.* — Lorsque tout dégagement a cessé à froid, il peut encore, la plupart du temps, se continuer sous l'action de la chaleur. Une température de 100 degrés n'est même pas suffisante pour tout extraire, et on retire encore des matières volatiles à 200 et 300 degrés (3). M. de Marsilly a vu cependant des combustibles perdre à froid en plusieurs mois tout leur gaz, et n'en plus donner ensuite, même à une température de 300 degrés (4). L'altération ainsi subie est du reste assez profonde, car le principe gras qui sert à coller le coke se détruit en même temps. Les exploitants connaissent en effet l'importance qu'il y a à ne pas laisser trop longtemps certains charbons

(1) DE MARSILLY : *Annales des mines*, 5e série, tome XII, p. 356.
(2) *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 180.
(3) M. THOMAS : *Journal of the Chemical Society*, t. XIII, p. 769.
(4) *Annales des mines*, 5e série, tome XII, page 357.

exposés sur les haldes avant la carbonisation. Cet effet est très marqué par exemple à Commentry. M. Fayol a constaté (1) qu'en perdant son pouvoir d'agglomération le combustible fixait de l'oxygène avec dégagement de chaleur et une augmentation de poids qui pouvait atteindre 20 p. 100 quand le charbon est très divisé. La faculté d'agglomération disparaît entièrement au bout de deux jours dans l'air chauffé à 150°, et d'un seul jour, si la température est de 200°; mais il subsiste encore en partie après un séjour d'un mois dans l'eau d'une chaudière maintenue à 150°.

M. de Marsilly a énoncé cette règle, au moins dans la mesure du cercle déjà très étendu qu'il avait embrassé dans ses expériences : que les houilles des mines à grisou dégagent de l'hydrogène carboné par la chaleur, et que celles des gîtes non grisouteux n'en donnent pas, mais fournissent surtout de l'azote. Il y voyait même un moyen de présumer, *à priori*, au moins avec une grande probabilité, si une veine nouvellement découverte présenterait ou non ce genre de dangers pour son exploitation (2).

24. — *Influence du vide.* — On peut également aider la sortie du gaz, non plus par la chaleur, mais par l'influence du vide. Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que, dans ce cas comme pour le précédent, le total ainsi retiré n'a aucune relation nécessaire avec la partie qui se dégage spontanément à l'air libre. Les charbons étudiés par M. Thomas, à froid et dans le vide, ne lui ont donné ainsi que 2 à 3 centimètres cubes de gaz pour 100 grammes de combustible (3).

Au sujet de cette influence du vide, MM. Hall et Clark

---

(1) FAYOL : *Comptes rendus mensuels*, 22 septembre 1878.
(2) *Annales des mines*, 5e série, tome XII, page 356.
(3) *Journal of the Chemical Society*, tome XIII, pages 795 et 812.

ont fait dans le Lancashire l'expérience suivante : ils ont pratiqué dans la houille un trou de mine, de manière à le faire parcourir par un piston, et ils ont installé un manomètre indiquant la pression dans ce tube. En tirant le piston, on déterminait un dégagement gazeux qui rétablissait presque instantanément la pression. Si alors on repoussait le piston dans le trou, le gaz refluait en divers points de la surface de la houille. En répétant l'opération, on arrivait à développer ainsi une grande quantité de grisou (1).

On voit, en résumé, que, sauf un dégagement déjà ralenti qui se prolonge encore pendant un temps plus ou moins long, la grande masse de gaz déversée dans la mine l'étant dans les premières heures, se trouvera, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnée à l'étendue des surfaces mises à vif chaque jour, et, par conséquent, à fort peu près en raison du tonnage de l'extraction journalière, relation très importante à signaler entre ces deux éléments si essentiels.

25. — *Le grisou dans les mines métalliques.* — Pour terminer cette question du gisement du grisou, je dirai encore que les mineurs ont parfois rencontré avec surprise ce gaz dans des gîtes métalliques. M. Daubrée a le premier fait connaître ce fait (2) dans l'ancienne exploitation de minerai de fer pisolitique de Gundershoffen (Bas-Rhin) et dans celle de Winckel (Haut-Rhin). Elles ont été l'une et l'autre le théâtre d'un certain nombre d'apparitions de grisou, dont deux en 1824 et 1832, assez importantes pour brûler des ouvriers. M. Resal, ingénieur en chef des mines, a cité une explosion analogue dans la mine de fer d'Exincourt. M. l'ingénieur en chef Castel mentionne de même une invasion de grisou qui a eu lieu le 15 novembre 1853 dans la mine de la Voulte (3).

---

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 246.
(2) *Annales des mines*, 4e série, tome XIV, page 33.
(3) *Annales des mines*, 5e série, tome VI, page 94.

M. Daubrée signale également, d'après un rapport de M. Furiet, ingénieur des mines, une inflammation de gaz en 1845 dans la mine de cuivre aujourd'hui abandonnée du Grand-Saint-Jean, près de Giromagny. M. Charlon rapporte aussi deux apparitions de gaz inflammable dans le gîte de cuivre pyriteux de Rocca Federighi (Toscane), qui se produisirent lors de la rentrée dans des travaux abandonnés (1). D'après un renseignement qui m'a été donné par M. Alfred Caillaux, plusieurs hommes ont été tués en 1845 par une explosion de grisou dans la mine métallique de Monte-Cattini, en Toscane. Ce gaz a paru, à trois reprises, à Pontpéan, où il suinte en ce moment à peu près en permanence. Comme la grande faille produite par la réouverture du filon a déterminé un rejet qui a mis une partie du gîte au niveau des terrains tertiaires, on avait pu croire à l'influence de dépôts ligniteux qui auraient existé dans ces couches. Duhamel rapporte même (2) « qu'on a « trouvé dans le filon un arbre tout entier, presque entiè- « rement carbonisé, à plus de 200 pieds de profondeur. » Il le suppose, du reste, tombé de la surface au moment de l'ouverture. Mais diverses circonstances donnent à penser que le grisou vient de la profondeur à travers le terrain silurien. Il se rattacherait alors à la catégorie des grandes fontaines de gaz de la Chine, du pays de l'huile en Pensylvanie, etc., que leur extrême abondance, leur longue durée et leur situation géologique ne permettent pas toujours d'expliquer par la présence de gîtes de combustible minéral. On leur attribue, dans beaucoup de cas, une origine interne et directe, sans toutefois que les réactions chimiques capables de produire ces carbures puissent être actuellement précisées (3).

(1) *Comptes rendus mensuels*, janvier 1879, page 6.

(2) Duhamel : *Géométrie souterraine*. — Massieu : Pièces annexées, etc., page 145.

(3) On peut consulter, sur la double hypothèse relative à cette

La présence de l'hydrogène carboné dans les gîtes de chlorure de sodium est bien connue. On l'a observée notamment à la mine de sel de Sztaline, qui était éclairée au grisou dès 1826. Il a été rencontré aussi à la saline de Gottesgabe, à Rheine (Westphalie) (1), à Zugo de Klein (Transylvanie) (2), à Wieliczka, etc.

M. Pernolet a signalé également plusieurs coups de grisou observés dans des soufrières de Sicile à la rencontre de travers-bancs avec des marnes bitumineuses.

Il ne serait pas impossible, du reste, que, dans une mine absolument quelconque, la décomposition des bois s'opérant dans des conditions spéciales, analogues à celles qui donnent dans les marais naissance à l'hydrogène protocarboné, ne fût de nature à produire parfois des apparitions de gaz inflammable, lorsqu'il aura pu s'accumuler progressivement dans des cavités dans lesquelles on viendra déboucher ultérieurement.

§ V. — INFLUENCES ATMOSPHÉRIQUES.

26. — *Considérations théoriques.* — Tout dégagement gazeux ayant pour ses deux facteurs principaux la pression et la température, on comprend, *à priori*, que les mouvements du baromètre et du thermomètre puissent avoir un retentissement direct sur le régime du grisou. Affirmée nettement par Combes, en 1844 (3), par Buddle, en 1835 (4), et même dès le commencement du siècle par

---

origine, le rapport de M. Daubrée sur l'Exposition universelle de 1867, tome V, page 90, ainsi que les *Prodromes de géologie* de Vésian, et la *Revue scientifique*, t. XIII, p. 409 (M. Mendeleef).

(1) *Annales de Poggendorff*, tome VII, page 133.

(2) *Annalen der Phys.*, de Gilbert, tome XXXVII, page 1.

(3) Combes : *Traité d'exploitation des mines*, tome II, page 535.

(4) *Transactions de la Société d'histoire naturelle du Northumberland.*

Baillet, professeur d'exploitation à l'École des mines (1), cette influence est cependant très fortement controversée ; il importe donc de rapporter avec détails les faits qui permettent d'asseoir sur ce sujet une opinion sérieuse (2).

Une distinction préjudicielle doit, d'après une remarque fort juste de MM. du Souich et Mallard, dominer toute cette discussion, suivant qu'il s'agit de mines aérées naturellement ou par des moyens artificiels. Dans le premier cas, l'agent moteur résidant uniquement dans les conditions de l'atmosphère, les variations du baromètre devront alors exercer leur maximum d'influence sur l'état de l'air des galeries. Au contraire, avec l'emploi des ventilateurs, on est exposé à des inégalités d'un ordre de grandeur tout à fait comparable aux différences de pression extérieure, et sans aucune relation avec ces dernières, ce qui peut, dans ce cas, tendre à masquer plus ou moins les effets produits et à jeter beaucoup d'incertitude dans les observations.

Il y a, en outre, lieu d'établir une seconde distinction déjà signalée par Combes, et qui doit être considérée comme fondamentale, entre la masse d'hydrogène carboné encore emprisonnée dans le massif et qui se trouve à l'état d'écoulement incessant par les surfaces mises à nu, et,

---

(1) BAILLET : *Journal des mines*, tome III, page 18.

(2) Parmi les auteurs qui se sont encore occupés de la question, il importe de citer :

DOBSON : *Reports of the British Association*, 1855;

DICKINSON, inspecteur des mines du Lancashire, dans son rapport de 1866;

Le volume XIX des *Transactions des ingénieurs du nord de l'Angleterre*;

Une note de M. SIMMENBACK, dans le *Journal de la Société météorologique autrichienne* pour février 1872;

Le mémoire de MM. Robert SCOTT et William GALLOWAY, analysé par M. SAUVAGE, dans les *Annales des mines*, 7e série, tome XI, page 212;

Lancaster (*Revue d'astronomie et de météorologie*, Bruxelles, 1880).

d'autre part, la quantité déjà dégagée qui remplit avec l'air les tailles et les voies de communication, ainsi que les vides stagnants des remblais ou des éboulements. Cette dernière suit, en effet, de très près la pression atmosphérique de l'extérieur, tandis que le grisou renfermé dans le massif s'y trouve, comme nous l'avons vu, à une tension bien supérieure en général, qui peut atteindre un certain nombre d'atmosphères. Vis-à-vis de cette énorme différence de pression, un centimètre de mercure, qui marque une perturbation atmosphérique considérable, paraîtra certainement bien peu de chose. Toutefois Callon, dans son beau *Cours d'exploitation des mines* (1), s'attache à expliquer que cet effet ne doit pas être nul. De plus, la tension des soufflards proprement dits n'est pas toujours aussi élevée, et Stephenson en aurait même, chose bien singulière, observé qui émettaient, sous une certaine pression atmosphérique, du gaz inflammable, et absorbaient au contraire l'air ambiant lorsque cette pression venait à augmenter (2). Cependant il est certain que, réduite à ces éléments, l'influence barométrique mériterait peu l'importance qu'on lui attache souvent. M. Chansselle signale des travaux *uniquement en traçage*, c'est-à-dire dénués des masses de remblais dont il s'agit, qui n'ont, pendant toute une série d'observations poursuivies en 1864, manifesté aucune coïncidence entre les baisses barométriques et les dégagements de grisou (3).

Mais le véritable intérêt de la question se trouve dans les masses de gaz déjà dégagé qui imprègnent l'air de la mine, et dont le volume suit, d'après la loi de Mariotte, les variations de la pression. Ce vide des travaux imparfaitement comblés par les remblais ou par le foudroyage du

---

(1) CALLON, tome II, page 417.
(2) *Report on the accidents in mines*, page 110.
(3) *Compte rendu mensuel*, etc., 1er décembre 1877, page 4.

toit peut atteindre, suivant l'expression de Callon, un grand nombre de milliers de mètres cubes (1). M. Soulary l'évalue méthodiquement pour une surface de 10 hectares dans une couche de 3 mètres de puissance. Il la trouve égale à 50.000 mètres cubes, et ajoute que le chiffre du vide existant dans certaines exploitations peut être beaucoup plus considérable (2). Ces espaces seront encore plus notables dans les grandes exploitations anglaises, dont le toit solide se maintient sur les espaces déhouillés dans d'énormes étendues (3). M. Francis Laur va même jusqu'à parler d'un million de mètres cubes de vide (4). Dans une mine anglaise exploitée par long-wall, ce volume a pu être mesuré directement, par suite de l'inondation et au moyen de l'eau retirée; procédé qui paraît cependant, *à priori*, bien précaire, à cause de l'irrégularité des venues d'eau provenant des infiltrations. On a reconnu ainsi qu'il correspondait au sixième de celui du charbon déhouillé (5) ou, dans d'autres cas, au cinquième et même au tiers (6). Par contre, il convient de dire que, dans un très grand nombre de cas, la charge du toit serre les remblais de manière à y atténuer et même à faire disparaître complètement le volume des vides, ou, dans tous les cas, à y confiner les gaz de manière à rendre leur circulation à peu près impossible.

Une opinion qui gagne tous les jours du terrain consiste à admettre que le grisou renfermé au milieu des anciens travaux s'en échappe progressivement sans se renouveler ou qu'il subit une oxydation lente, de telle sorte qu'en y

(1) Callon, tome II, page 416.
(2) *Annales des mines*, 7e série, tome XI, page 244.
(3) Delahaye : *Revue industrielle* du 20 novembre 1877.
(4) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VI, pages 294 et 796.
(5) *Transactions of the North*, etc., tome XVIII, page 159.
(6) M. Dombre (*le Grisou*, page 18) considère également les vides comme compris entre le cinquième et le tiers de celui du remblai.

rentrant on n'y trouve guère, en son lieu et place, que de l'acide carbonique (1). C'est notamment ce qui est arrivé plusieurs fois à Blanzy, quand on est revenu dans les anciens quartiers fermés à la suite des deux grandes explosions. MM. Chansselle et Dubief l'ont encore constaté récemment au puits du Treuil. M. Murgue énonce de même que les vieux travaux de Bessèges renferment, non du grisou, mais de l'acide carbonique. Il cite des remontées de 100 mètres exécutées dans les remblais d'anciens espaces grisouteux sans aucun inconvénient que le manque d'air. Le même auteur rappelle encore un percement du quartier Sainte-Barbe de Graissessac effectué au milieu d'anciens travaux très grisouteux sans rencontrer d'autre gaz étranger que l'acide carbonique. M. Delafond fait remarquer d'ailleurs qu'après le traçage les massifs cessent souvent de dégager du grisou avant la fin du dépilage, ce qui semble préserver à tout jamais les vides abandonnés de l'invasion de ce gaz.

Ces témoignages forment évidemment un ensemble d'une très grande valeur. Toutefois il sera prudent de penser qu'il ne peut y avoir en pareille matière qu'une règle dominante, mais non exclusive. Dans certaines conditions, avec des dégagements durables, des parois étanches, des ouvrages en cloche, l'infection pourra continuer. De plus, M. Dombre fait remarquer que la présence de l'acide carbonique peut, en pareil cas, jeter de l'incertitude sur l'indication du grisou par la lampe. L'existence du grisou dans les vieux travaux avait même propagé chez les anciens mineurs belges cette croyance, que ce gaz se formait par la réaction lente de l'air et de l'eau sur la houille (2).

27. — En présence de ces masses d'air vicié qui se

(1) Delahaye : *Compte rendu mensuel*, etc., 1er décembre 1877, page 4.

(2) Genneté : *Connaissance des mines de houille ou charbon de terre*, 1774.

trouvent à la pression ordinaire de 76 centimètres de mercure, on comprend qu'une baisse barométrique fera refluer dans les galeries un volume considérable de gaz. Supposons-la, par exemple, avec M. Soulary (1), d'un centimètre et demi de mercure ou d'un cinquantième environ de la pression ordinaire. Les 50.000 mètres cubes cités ci-dessus tendront à se dilater de 1.000 mètres cubes qui se trouveront rejetés dans la circulation normale du courant d'air. Il est bien vrai que ce ne peut être dans un seul instant, et que la ventilation, pendant le temps plus ou moins prolongé que la baisse mettra à se produire, noiera cette masse dangereuse dans une grande quantité d'air. Mais il n'en est pas moins certain que le courant, calculé pour être sans exagération en rapport avec les nécessités ordinaires, s'en trouvera profondément vicié. S'il était pur, il se trouvera dans des conditions inquiétantes. S'il était d'une composition déjà précaire, il pourra être porté à la proportion qui correspond au maximum du danger. Cette proportion elle-même, qui pouvait préexister sans inconvénient immédiat dans la masse des vieux travaux à l'abri du contact des lampes, aura pu pénétrer avec le gaz dans la circulation générale, en créant un péril actuel.

Il est nécessaire de dire, toutefois, que ces explications supposent une certaine promptitude dans le mouvement barométrique. Si la baisse a lieu lentement, l'infection du courant diminue et peut rester inoffensive. De plus, on a tout le temps nécessaire pour activer la marche des ventilateurs et créer pour l'aérage un nouveau régime en rapport avec les circonstances modifiées.

M. Le Châtelier, dans le remarquable mémoire qu'il a rédigé sur cette question (2), bat en brèche avec beaucoup de force la théorie de M. Soulary. Il se fonde d'abord, d'après

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome XI.
(2) Pièces annexées aux procès-verbaux, etc., page 98.

une étude météorologique fort soignée, sur ce qu'une baisse de un centimètre et demi de mercure est tout à fait inadmissible et lui paraît au moins dix fois trop forte, ce qui obligerait déjà à réduire au dixième tous les résultats. De plus, le gaz qui sort est loin d'être du grisou pur, la proportion peut en être fort atténuée. Dans tous les cas, la zone qui exécute des mouvements de sortie et de rentrée est surtout superficielle, plus mitigée par suite dans sa teneur que les parties profondes des régions soustraites à la circulation régulière.

Par contre, M. Tournaire fait remarquer que, lors même que des calculs étendus à tout le volume d'une mine n'indiqueraient qu'une viciation en apparence insignifiante, il pourrait cependant en découler un grand danger, en ce que cette proportion serait toujours loin d'être rigoureusement uniforme, qu'elle pourrait être exceptionnellement marquée sur certains points et qu'il suffit d'un endroit dangereux pour faire planer le péril sur la mine entière.

Ajoutons qu'indépendamment de l'influence atmosphérique, diverses causes peuvent contribuer à mettre subitement en mouvement les masses gazeuses; par exemple, la chute brusque d'une certaine quantité d'eau dans un puits, suivant l'exemple rapporté pour Bessèges par M. l'ingénieur des mines Parran (1), et surtout celle du toit sur une étendue notable. C'est ainsi qu'on a vu à Mount-Osborne, près de Barnsley, un éboulement effectué sur un espace de 55 mètres sur 45 mètres déplacer d'un seul coup 45.000 pieds cubes d'air (2).

Il ne faut pas non plus omettre de mentionner ici ces dépôts redoutables qui se forment dans les excavations du toit appelées *cloches*, si on n'apporte pas à les faire dispa-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, t. V, page 331.
(2) *Transactions of the North*, etc., tome XVII, page 85.

raître un soin qui doit du reste être réglementaire. Nous avons vu que ces masses d'air, placées à l'état statique en dehors du courant général, se stratifient dans toute leur hauteur. Il existe donc, à un *niveau dangereux*, la proportion du maximum de la tendance explosive. La dilatation résultant de la diminution de pression abaissera ce niveau, et de la région où les imprudences l'eussent difficilement atteint, pourra le faire pénétrer dans une partie plus accessible et parcourue par les lampes.

28.— ***Étude expérimentale.***— Mais les raisonnements *à priori* ne sauraient suffire en pareille matière, et il est indispensable de ne conclure définitivement que d'après des faits observés. La méthode qui permet d'éclaircir une pareille question doit, du reste, être instituée avec un grand soin, car bien des causes d'erreur pourraient masquer les résultats. Ce serait une première faute de ne consulter absolument que des registres d'accidents comme seul document. En effet, l'accident, qui suppose à la vérité l'invasion du grisou, exige en outre une circonstance quelconque, que tout tend à écarter le plus possible, et qui aura fortuitement déterminé l'inflammation. Le hasard aurait donc une grande part dans un tel relevé. En outre, quelques-uns de ces registres ne mentionnent que des accidents ayant occasionné mort d'homme ou au moins des blessures, ce qui est une circonstance étrangère au fond même du point en litige. Enfin, le temps des chômages accidentels ou périodiques, en retirant la presque totalité du personnel, supprime les chances d'inflammation. On doit préférer de beaucoup les documents suivants. En premier lieu, les registres barométriques, dont le *Coal Mines regulation Act* a prescrit dans les houillères anglaises la tenue régulière, ou ceux d'un observatoire météorologique situé bien à la portée du district minier. L'emploi du baromètre enregistreur de Redier peut fournir des renseignements encore plus complets,

d'ailleurs, que des observations périodiques. On en rapprochera les rapports quotidiens, qui sont également tenus à jour dans beaucoup de mines et qui doivent mentionner les apparitions de grisou ou les aggravations de l'état normal de l'atmosphère des mines. D'après la loi anglaise, ce genre d'observation doit être consigné chaque jour pendant toute l'année qui suit une apparition de grisou.

Il ne paraît pas d'ailleurs que l'on doive chercher la démonstration de la relation qui nous occupe entre la baisse barométrique et l'invasion grisouteuse dans une simultanéité rigoureuse de ces deux circonstances. On observe presque toujours un retard dont il serait du reste difficile de préciser la valeur. Son existence a même été contestée et M. Warbuton va jusqu'à penser (1) au contraire que l'indication barométrique suit, au lieu de la précéder, l'infection de la mine par le grisou; on comprend cependant *à priori* qu'en raison des grandes résistances opposées au mouvement des gaz à travers les remblais, un certain temps doit être nécessaire pour que la transmission de pression, les dilatations et les déplacements qui en sont la conséquence puissent s'effectuer complètement.

En opérant d'après ces principes à l'aide d'un registre d'observations faites à Anzin, sur la fosse Haveluy, M. Sauvage a reconnu que trois fois sur quatre, quand le grisou est signalé, il y a baisse barométrique (2).

MM. Scott et Galloway (3) ont exécuté dans ce sens un travail très considérable. Employant d'une part le diagramme continu de l'observatoire de Stonyhurst, près de Preston, ils ont en même temps dépouillé les registres des mines des environs de Glascow, pour l'année 1873. En

(1) DOMBRE : *le Grisou*, page 23.
(2) *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome XI, page 227.
(3) *Proceedings of the Royal Society*, n° 134, année 1872. — *Quarterly Journal of the Meteorological Society*, octobre 1873 et octobre 1874.

éliminant celles qui renfermaient constamment du grisou ou qui n'en présentaient jamais, ainsi qu'un certain nombre d'autres dont les registres ont paru mal tenus, les auteurs en ont choisi trente-cinq, dans lesquelles le grisou faisait de temps à autre son apparition. Pendant le cours de l'année il s'est montré une fois dans quinze mines, et il ne s'est pas écoulé une seule journée durant laquelle il ne se soit manifesté dans deux houillères au moins. M. Galloway a construit une courbe barométrique, et sur la même épure une autre ligne dont l'ordonnée renversée est proportionnelle au nombre de mines infectées chaque jour. On peut ainsi observer le parallélisme de ces deux tracés, qui se trouvent dans les *Annales des mines* (1). L'une des circonstances qui tendent à donner de la valeur à cette démonstration, d'après une remarque de M. Sauvage, consiste en ce qu'elle concerne souvent des groupes de faits en concomitance avec chaque dépression barométrique, et non une observation isolée.

M. Nasse (2) a repris la question par une méthode nouvelle et intéressante. Au lieu d'un district entier, il envisage une seule mine et même un point spécial de cette mine, pour en étudier les dégagements d'une manière incessante. Il obtient ainsi des diagrammes qui établissent une concordance parfaite avec la variation barométrique. Il dégage en outre une circonstance qui devait nécessairement rester masquée dans les recherches qui concernent un ensemble de mines. C'est un certain degré de baisse, sensiblement constant et caractéristique, nécessaire pour provoquer le dégagement de gaz, et qui pourrait probablement, en restant invariable pour chaque mine ou chaque quartier, varier de l'un à l'autre.

(1) 7e série, tome XI, Pl. V, *fig. 4*.
(2) *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen*. t. XXV, p. 267.

Par contre, des relevés très attentifs et très étendus de M. Castel, ingénieur en chef des mines, sur les accidents du bassin de Saint-Étienne, l'ont amené à une conclusion absolument négative sur l'influence barométrique.

M. Le Châtelier, dans son mémoire déjà cité, bat en brèche la méthode de M. Galloway et révoque en doute ses résultats et ses conclusions. Il lui reproche d'abord une trop grande largeur d'appréciation, en ce que le savant inspecteur des mines d'Angleterre considère comme appartenant à l'influence de la baisse toute la durée de cette baisse, et en outre les trois jours de hausse qui la suivent. En outre, on trouve ainsi que la proportion des accidents qui peuvent se rapporter à une baisse est de 50 p. 100. M. Le Châtelier, en se reportant aux observations météorologiques, trouve de son côté, 50 p. 100 pour la proportion des jours de baisse sur le total de l'année, ce qui tendrait à établir que le résultat est simplement proportionnel au temps, et par suite la baisse dénuée de toute influence propre. Passant des accidents proprement dits aux simples apparitions de grisou, M. Le Châtelier discute la valeur du parallélisme des courbes de M. Galloway. Il le trouve pour une partie de l'année trop désordonné pour former une preuve suffisante. Là où il est très marqué, l'effet grisouteux paraît précéder, et non suivre, la baisse observée, ce qui tendrait à corroborer l'opinion relatée plus haut de M. Warbuton. Le contraire cependant devrait avoir lieu, comme nous l'avons expliqué, si la différence de pression était bien véritablement la cause efficace. Mais M. Le Châtelier, remarquant que la variation du thermomètre précède en général et provoque même celle du baromètre, incline à penser que cette dernière et le dégagement grisouteux, au lieu d'être l'une pour l'autre cause et effet, ne seraient que deux effets d'une même cause, à savoir la variation thermométrique.

Le baromètre ne paraît pas en effet à M. Galloway lui-même être seul à influer sur l'état des mines, et les oscilla-

tions du thermomètre s'y répercutent également dans une mesure importante. Elles sont en effet, comme les changements de pression, une cause de modification de volume. M. Galloway a même dressé le tableau suivant, indiquant la proportion des explosions de grisou qui lui ont paru être rapportées à la variation du baromètre ou du thermomètre ou à des influences mal définies :

ANNÉES.	NOMBRE d'explosions.	BAROMÈTRE.	THERMOMÈTRE.	INFLUENCES diverses.
1868.	154 (incomplet.)	47 p. 100	27 p. 100	26 p. 100
1869.	200	48 —	17 —	35 —
1870.	196	50 —	24 —	26 —
1871.	207	55 —	19 —	26 —
1872.	233	58 —	17 —	25 —

Les variations hygrométriques elles-mêmes ne peuvent être laissées de côté dans cette énumération d'influences actives. D'une part, si l'air extérieur est très sec, il se chargera de vapeur d'eau dans la mine et se refroidira, en modifiant les conditions de la ventilation. En outre, l'atmosphère en les desséchant rendra les poussières charbonneuses plus mobiles et plus inflammables, circonstance grave dont nous étudierons les effets dans le paragraphe suivant.

Sous la préoccupation de ces diverses influences on a conseillé l'observation constante sur les puits de mine, du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre. La première au moins est devenue courante dans beaucoup de districts. M. Thénard pense à cet égard que l'on pourrait construire des baromètres à cadran tels que ceux qui sont en usage dans les habitations pour indiquer les probabilités du temps. Seulement, au lieu des formules habituelles, ils porteraient une graduation indiquant l'allure qu'il convient d'imprimer au ventilateur. Cet appareil constamment placé sous les yeux du mécanicien lui permettrait ainsi de conduire sa machine avec une grande précision.

Les ateliers de Marcinelle et Couillet ont même construit, sur les indications de M. Timmermanns, un ventila-

teur qui prend automatiquement son allure sous l'empire d'un régulateur à action variable commandé directement par les changements du baromètre (1).

Cette question si grave et si obscure de la relation entre les variations atmosphériques et le dégagement du grisou ne pouvait manquer de fixer l'attention de la Commission d'une manière spéciale. Toutefois il ne lui a pas paru possible, dans l'état actuel des observations, d'émettre un avis plus affirmatif que celui qui se trouve consigné dans le procès-verbal de la séance du 17 mars 1880 : « La Commission ne croit pas qu'elle puisse trancher dès à présent la question de l'influence de la dépression barométrique sur le dégagement du grisou. Il résulte toutefois des documents recueillis par elle, ainsi que des avis émis par plusieurs de ses membres, que cette influence est au moins douteuse et que dans le cas où elle se ferait sentir elle ne paraîtrait pas modifier d'une façon très considérable les conditions de sécurité des mines à grisou. »

§ VI. — ROLE DES POUSSIÈRES DE CHARBON.

29. — ***Historique de la question.*** — Nous arrivons à une question spéciale, distincte de celle proprement dite du grisou, mais qui n'en saurait être disjointe, car les praticiens les plus autorisés s'en sont depuis longtemps préoccupés de plus en plus, comme d'une source de réels dangers.

La première mention que l'on rencontre de cette influence est due à Faraday et Lyell, chargés en 1844 d'une enquête administrative sur l'explosion de Haswell. On lit en effet dans le *Philosophical Magazine* de 1845 : « En considérant l'étendue du feu au moment de l'explosion, il n'est pas possible d'admettre que le grisou ait été le seul combus-

(1) *The Engineer*, 22 novembre 1878, page 363.

tible lui ayant servi d'aliment, la poussière de charbon soulevée par la violence du courant et de la flamme, et provenant du toit, du sol et des autres parois du chantier, aura dû prendre feu et brûler, si elle a rencontré dans l'air assez d'oxygène pour favoriser la combustion. Or nous avons trouvé que la poussière adhérente aux piliers, aux boisages, et en général à toutes les parois placées en regard du lieu de l'explosion, augmentait graduellement d'épaisseur jusqu'à une certaine distance, à mesure que nous approchions du point où cette explosion avait pris naissance. Cette épaisseur était sur quelques points de un demi-pouce ($0^m,0125$) et sur d'autres de presque un pouce ($0^m,025$). Bien qu'adhérente, elle était friable comme du coke et en présentait d'ailleurs l'aspect, lorsqu'on l'examinait à la loupe. En l'essayant chimiquement et la comparant à la houille réduite en poudre, on a trouvé qu'elle avait perdu la majeure partie et quelquefois même la totalité des matières volatiles qu'elle possédait auparavant. Il y a donc toute raison de croire que la flamme du grisou, par suite du courant qui s'est produit, a provoqué au moyen de la poussière et de l'air même de la mine la formation d'une grande quantité de gaz; là où la poussière n'a pas été carbonisée, c'est que l'air a manqué (1). »

La citation précédente était restée ignorée en France, lorsque, en 1855, M. du Souich, alors ingénieur en chef des mines de l'arrondissement minéralogique de Saint-Étienne, ayant à donner son avis sur l'accident survenu le 29 août au puits Charles, de Firminy, s'exprimait ainsi : « On pouvait recueillir en divers points sur les butes une sorte de croûte composée d'un coke léger qui ne peut provenir que de la poussière de houille balayée dans les chantiers et sur le sol des galeries et transporté au loin par le courant

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 3e série, tome V, page 34, note 1.

d'une extrême violence que produit l'explosion. Cette poussière se trouvant elle-même en partie enflammée peut continuer les effets du grisou en les portant plus loin. C'est ainsi que les ouvriers restés près du puits Charles lui-même ont pu recevoir des brûlures, indépendamment de graves contusions, tandis que ceux placés au fond du chantier rapproché du théâtre de l'explosion, mais en dehors du courant, ont été préservés, bien que l'air eût dû dans ces chantiers être chargé de gaz, si la mine était très infestée. »

Six ans après, lors de l'explosion du 26 mai 1861, au puits du Treuil, M. du Souich comme ingénieur en chef, ainsi que M. Estaunié comme ingénieur ordinaire, insistent de nouveau dans leurs rapports, en termes analogues qu'il est inutile de reproduire. M. du Souich développe de nouveau avec beaucoup de détails les vues précédentes à l'occasion de l'accident de Villars du 11 octobre 1867. Il y fait notamment remarquer, à l'occasion de cette objection, que le peu d'importance du coke déposé sur les boisages ne paraissait pas en rapport avec les effets de l'explosion, que plus la combustion de la poussière sera complète, plus les effets en seront considérables, et moins, cependant, on trouvera de résidu.

MM. Verpilleux en 1864 (1), de Reydellet, A. Burat, Poumairac, Baretta et autres praticiens des plus autorisés, ont également émis des opinions également formulées sur le rôle des poussiers. Enfin MM. Desbief et Chansselle (2), M. l'ingénieur des mines Vital (3) et particulièrement M. W. Galloway (4), en ont fait récemment l'objet de nombreux mémoires spéciaux.

(1) Note sur un système de portes (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome IX, p. 466; et *Annales des mines*, 6e série, tome XII, page 564).

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, page 217.

(3) *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 180.

(4) De l'influence de la poussière de houille dans les explosions

30. — *Étude du phénomène.* — La présence des poussières de charbon dans les mines est due au piétinement dans les galeries de roulage, et en outre à l'abatage de la houille dans les tailles, qui sont parfois remplies d'un nuage presque irrespirable. C'est au point qu'il est arrivé, notamment à Saint-Éloy à un certain moment, que l'on munit les ouvriers d'appareils respiratoires analogues à ceux des carriers de meulières de la Ferté-sous-Jouarre. C'est aussi à ces poussières que l'on a rapporté la maladie des mineurs appelée mélanose charbonneuse, qui provient d'un encrassement des poumons. La suie des lampes y a du reste la plus grande part.

La combustion des poussières peut s'observer directement en dehors même des travaux souterrains. C'est ainsi que plusieurs inventeurs ont proposé des machines motrices à poussière de charbon. De même, dans le domaine de la métallurgie, M. Whelpley et Storer en Amérique, ainsi que M. Crampton à Woolwich, appliquent au puddlage de longues flammes de poussière mélangée à l'air du ventilateur dans des proportions déterminées pour correspondre au maximum d'effet calorifique (1). M. Petitjean, en projetant sur un feu ardent la poussière du charbon du puits Cinq-Sous, à Montceau-les-Mines, observait un effet analogue à celui de la poudre (2). M. Thénard cite un cas d'inflammation provoquée par l'entrée d'un ouvrier avec une lampe à feu nu à l'intérieur d'une tonne destinée à la pulvérisation du charbon. M. Veillon a vu également se produire de petites explosions, avec le broyeur de charbon (3). M. Babilot a si-

---

de grisou (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 3e série, tome V, page 33; et *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 799, traduction par M. Chansselle).

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 176.

(2) A. Burat : *les Houillères en* 1872, page 128.

(3) *Comptes rendus mensuels*, octobre 1878, page 246.

gnalé de même une détonation de poussière de brai au contact d'une lampe dans une usine d'agglomérés (1). M. Thénard a constaté que des eudiomètres qui résistent à la détonation des gaz de l'eau étaient brisés par une addition de poussière de charbon.

Disons encore que, dans les moulins à farine, le point le plus dangereux pour l'incendie est la chambre où se rend l'air qui a rafraîchi les meules. Il entraîne un pulvérin impalpable facile à enflammer; il est interdit d'entrer dans cette chambre avec des lampes, et les compagnies d'assurances recommandent de les construire très légèrement en les séparant autant que possible du reste des bâtiments (2). Une épouvantable explosion a détruit le 2 mai 1878, à Minnéapolis, les plus grands moulins du monde, ceux de Washburn Mill, près des chutes de Mississipi (3). Un fait analogue est rapporté par M. Maumené comme s'étant passé en 1785 (4). L'explosion du moulin de Tradeston, près Glasgow, le 9 juillet 1872 a été aussi l'objet d'un rapport détaillé de Bauhmé et Stephenson Macadam (5). Une explosion de poudre d'amidon a eu lieu à Paris il y a une dizaine d'années (6). La garancine elle-même est explosible : M. Viollet a appelé l'attention sur une semblable détonation survenue le 13 novembre 1878 à Sorgues (7). La poudre de lycopode a formé autrefois l'agent explosif

(1) *Comptes rendus mensuels*, janvier 1879, page 5.

(2) *Transactions of the North*, etc., tome XXVI, page 104. On peut voir aussi sur ce sujet une intéressante note de M. Berthelot, (*Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 564, p. 310).

(3) Lettre de M. Lawrence Smith : *Compte rendu de l'Académie des sciences*, tome LXXXVII, page 121. — *Journal de physique et de chimie*, mai 1878. — *Revue universelle des mines et des usines*, 1878, tome IV, page 720. — *Les Mondes*, 11 juillet 1878, page 427.

(4) Morosso : *Annales de chimie*, tome IV, page 173.

(5) *Séance de la Société d'encouragement* du 12 juillet 1878.

(6) *Journal de pharmacie*, 4e série, tome X, page 61, 1869.

(7) *Comptes rendus*, octobre et novembre 1878, page 245.

d'un fulmi-moteur de Niepce (1). Elle figure de même dans la production de certains feux instantanés au théâtre. Le pyrophore de Homberg, mélange calciné d'alun et de charbon, s'enflamme par sa seule projection dans l'air (2). Enfin la pulvérisation du soufre au broyeur Carr, en vue de l'oïdium, a dû être abandonnée presque partout à cause de la facilité de l'inflammation (3).

21. — *Accidents observés.* — A Beaubrun, à deux reprises différentes, des poussiers se sont enflammés au jour (4). Dans cette concession et à la fosse du chauffour d'Anzin, on a observé des flammes rougeâtres d'une dizaine de mètres, dues aux lampes ou aux coups de mines et qui ne peuvent être attribuées qu'aux poussières, car la flamme du grisou est bleue. Il en a été de même à Bessèges, en 1869; à Sainte-Marie du Montceau, le 7 février 1871 ; au puits Sainte-Camille de la Péronnière, le 6 juillet 1872; au puits Dyèvre de la Béraudière, le 12 décembre 1874; dans la deuxième brûlante de la même concession, le 2 janvier 1875; à Llan (pays de Galles), le 6 décembre de la même année (5) ; le 15 janvier 1875 et au mois de mars 1877, à Trelys; le 29 juin 1878 à Salles de Gagnères, etc.

Le 2 décembre 1875, une explosion a eu lieu à Campagnac, à la suite du tirage d'un coup de mine. Elle brûla, à une quarantaine de mètres, trois ouvriers, qui succombèrent au bout de quelques jours. Nul indice de grisou

(1) Rapport de BERTHOLLET et CARNOT à l'Institut, cité par Borgnis (*Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, page 197).

(2) *Comptes rendus mensuels*, CHARLON, janvier 1879, page 5.

(3) On consultera avec fruit l'intéressant article de M. TISSANDIER sur les poussières (*Bulletin de l'association scientifique de France*, n° 646, page 397).

(4) *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 176. — *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, pages 221 et 222.

(5) GALLOWAY : *Influence of coal dust*, etc.

n'avait jamais été signalé dans cette couche. Cet accident, minutieusement étudié par M. l'ingénieur des mines Vital (1), a été rapporté à l'influence des poussières et a beaucoup contribué à rappeler l'attention sur cette question.

M. Pinel a également signalé le coup de feu de la Béraudière du 31 mai 1877, qu'il a paru impossible d'attribuer au grisou (2). On n'en avait, en effet, jamais observé la moindre trace depuis vingt-deux ans dans la grande couche, et on ne devait pas s'attendre à le voir apparaître en dernière tranche, après que toute la durée du développement de la méthode d'exploitation avait contribué à fatiguer la houille. Un gouverneur fut cependant renversé à 200 mètres du lieu de l'explosion, et les bois se trouvèrent tapissés de petits grains de coke, tous placés du côté du coup de mine.

Les poussières paraissent également avoir joué un rôle dans la catastrophe de Blantyre, en Écosse, le 22 octobre 1877. Les colonnes de fumée qui sont sorties de certains puits pendant plusieurs minutes, ne pouvaient, en effet, être dues qu'à la combustion des poussières. Le directeur a été brûlé à l'orifice du puits d'entrée d'air, ce qui suppose le refoulement d'un mélange capable de rester enflammé pendant quelque temps, et non, par suite, exclusivement gazeux. M. Galloway fait observer avec beaucoup de justesse que le caractère d'universalité des grands accidents doit, pour un certain nombre au moins, être considéré comme une preuve du rôle qu'y ont joué les pulvérins. On ne saurait en effet admettre qu'avec les moyens d'aérage perfectionnés dont on dispose aujourd'hui et la surveillance dont les mines sont l'objet, une atmosphère qui ne donnait aucun signe de la présence du grisou quelques in-

(1) Recherches sur l'inflammabilité des poussières de charbon (*Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 180).

(2) *Compte rendu mensuel*, etc., juin 1877, page 9.

stants avant le coup de feu ait pu se trouver subitement infectée ***dans toute son étendue***, tandis qu'il est facile d'admettre qu'un point en particulier soit devenu explosif, et que les poussières aient pu transmettre le feu en se soulevant de proche en proche (1).

32. — La présence des croûtes légères de coke sur les bois de soutènement a été souvent observée dans les grands accidents (Cinq-sous, à Blanzy, en 1847; la Garenne, à Épinac, en 1871, etc.) (2). Suivant M. Verpilleux, on pourrait parfois remplir un mètre cube de ces matières agglutinées (3). Elles ont été étudiées au puits Jabin par M. Mathet, qui en a fait, à l'aide de l'analyse chimique, la comparaison avec la houille du gîte (4). Celle-ci renfermait 23,63 p. 100 de matières volatiles et le coke seulement 17,50, ce qui correspond à une perte de 6,13 p. 100 du poids de la houille, c'est-à-dire un quart à peu près de la teneur initiale en gaz. M. Chansselle a donné également l'analyse suivante (5) :

		Coke du dixième niveau.		Coke de la petite couche.	
Coke.	Carbone	67,20	80,00	66,90	83,20
	Cendres	12,80		16,30	
Matières volatiles (abstraction faite des cendres)			22,94		20,08
Matières volatiles de la houille correspondante (abstraction faite des cendres)			29,80		27,50

On obtient ainsi la preuve directe du dégagement de ce gaz qui a dû naturellement s'accompagner d'effets destructeurs considérables. En effet, d'après le chiffre de M. Ma-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, t. VII, page 623.

(2) *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome II, page 255.

(3) *Ibidem*, 6ᵉ série, tome XII, page 561.

(4) *Encyclopédie des lettres, des sciences et des arts*, article Grisou, par M. Burat, page 209.

(5) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, t. VI, page 831.

thet, 1 kilog. de poussière a dégagé 61 grammes de gaz, c'est-à-dire 84 litres à la température et à la pression normales. Mais ce volume s'est considérablement amplifié par l'ignition, et les calories dégagées ont dû dilater de même l'air ambiant. La perte de matière volatile, rapportée à celle qui est renfermée dans la houille, a été trouvée par M. Vital dans divers essais égale à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{7}$ (1), par M. Chansselle $\frac{1}{4,3}$, $\frac{1}{3,7}$ (2), par M. Mathet $\frac{1}{4,7}$ (3), par M. Villiers $\frac{1}{2}$ (4). M. Vital a constaté que les poussières qui ont fourni une première explosion ne sont plus aptes à en produire une seconde.

MM. Freyre, Marreco, Morison et Cochrane, à la suite d'une très intéressante série d'expériences (5), pensent qu'il y a lieu d'établir une distinction suivant que les poussières proviennent de charbons secs ou bitumineux, ce qui semble fort judicieux. Ils ont également constaté l'aggravation qui résulte de la succession rapide de deux coups de mine, dont l'un soulève la poussière tandis que l'autre y met le feu lorsqu'elles sont déjà en suspension.

A Campagnac, M. Sibel a constaté (6) que les fils à plomb destinés à diriger le percement étaient calcinés à

(1) *Annales des mines*, 1875, page 186.

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VI, page 831.

(3) M. MATHET : *Études sur le grisou*, page 80.

(4) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, page 207.

(5) Bulletin du *North of England Institute of mining and mechanical Engineers*, 1879, tome XXVIII, 2e partie. — Note de M. DOMBRE aux *Annales des mines* (7e série, tome XV, page 374).

(6) DESBIEF et CHANSSELLE : De l'influence des poussières charbonneuses (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 217).

la partie inférieure, tandis que le haut ne portait pas de traces de combustion. Les montants des cadres avaient conservé l'empreinte des flammes, mais les chapeaux en avaient été préservés. Les ouvriers étaient brûlés principalement dans la partie inférieure du corps. Toutes ces circonstances s'expliquent par la situation des poussières qui sont accumulées surtout sur la sole de la galerie, tandis que l'inverse aurait dû avoir lieu avec le grisou, qui se tient au faîte.

Il convient (1) d'être particulièrement sur ses gardes à la fin des postes, lorsque le travail d'abatage et de pelletage a chargé pendant plusieurs heures l'atmosphère de poussière de houille. La statistique des accidents est d'ailleurs tout à fait conforme à cette manière de voir.

M. Galloway admet l'accroissement du danger avec la profondeur, toutes choses égales d'ailleurs (2). En effet la chaleur centrale tend à augmenter la dessiccation, et l'éloignement de la surface diminue les infiltrations, ce qui rend les poussières plus mobiles et plus redoutables. Il trouve un maximum de danger entre 120 et 215 mètres; au delà l'arrosage devient nécessaire, en dehors même de la question des explosions de poussière, pour l'hygiène de la population souterraine, si les circonstances locales ne donnent pas un excès d'eau. Sir George Elliot avait lui-même indiqué un maximum entre 150 et 300 mètres (3).

Il faut signaler comme une influence déplorable de ces pulvérins l'abondance de gaz irrespirables que dégagera ordinairement leur combustion. Elle condamne

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IX, page 173.

(2) GALLOWAY : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 649. — LAUR : *Journal des mines*, 1878, page 357.

(3) Séance de la Chambre des communes du 21 juin 1878.

à une asphyxie inévitable les hommes qui auraient pu échapper aux effets mécaniques et à l'action délétère du grisou proprement dit. Dans l'accident du 14 février 1877, au puits Sainte-Barbe de Graissessac, que je cite comme exemple à cet égard, bien que le grisou paraisse y avoir exercé beaucoup plus d'action que les poussières, M. Rascle a constaté que, sur 39 victimes retirées, trois seulement portaient des traces de brûlures ayant pu occasionner la mort. Les autres avaient péri par l'asphyxie (1).

On a à cet égard agité la question de savoir si l'oxyde de carbone ne venait pas dans ces circonstances ajouter son influence toxique à l'action asphyxiante de l'acide carbonique (2). Cette opinion a été basée sur ce qu'on avait trouvé des lampes allumées au milieu d'ouvriers morts; cette circonstance semblant prouver que ces derniers avaient dû être empoisonnés par un gaz qui ne supprimait pas par lui-même la combustion. Mais, sans vouloir nier *à priori* la possibilité de la présence de ce gaz redoutable, on ne peut accepter comme une preuve définitive le raisonnement précédent. En effet, les conditions de l'oxydation qui constitue la combustion artificielle dans une lampe ou de celle qui forme la respiration dans les poumons ne sont pas les mêmes. Les lampes peuvent encore brûler dans une atmosphère renfermant 20 p. 100 d'acide carbonique au milieu de laquelle les fonctions organiques ne sont plus capables d'éliminer du sang le gaz dont il est chargé. Il serait certainement intéressant que l'urgence des dispositions à prendre dans un sauvetage pût néanmoins permettre d'effectuer des prises de gaz qui seraient analysées ultérieurement pour élucider cette question. Ces recherches auraient d'autant plus d'intérêt, qu'on observe aussi des

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., août 1877, page 4.

(2) Docteur Riembault : *Compte rendu de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 831.

effets en apparence inverses et que souvent les lampes refusent de brûler sans qu'on éprouve encore de gêne décisive pour la respiration. M. Thénard estime *à priori*, d'après les conditions mêmes de la combustion, qu'il doit y avoir production d'oxyde de carbone. M. de Marsilly le pense également, parce que certains ouvriers échappés à un coup de feu avaient perdu la mémoire.

Quant à l'état de l'atmosphère le plus propre à faciliter l'inflammation des poussières, un temps sec et froid doit être considéré comme le plus dangereux, car l'air absorbera alors d'autant plus facilement l'humidité de la mine, et rendra par là les poussières plus mobiles et plus aptes à s'enflammer. Trois accidents arrivés du 4 au 6 décembre 1875 dans le pays de Galles ont coïncidé avec un minimum de température (1). On remarquera que ces conditions sont en quelque sorte opposées à celles qui sont les plus critiques pour le grisou, à savoir la baisse barométrique accompagnée de la hausse du thermomètre.

22. — *Mode d'inflammation.* — Quant à la cause déterminante de l'inflammation des poussières, on l'a attribuée le plus souvent à la flamme des lampes, ou surtout au tirage des coups de mines. Des ingénieurs éminents, tels que M. de Villaine, pensent que cette dernière cause notamment peut allumer directement les poussières sans la présence du grisou (2). M. Vital a formulé les mêmes conclusions à la suite d'une série d'expériences intéressantes (3) instituées de manière à imiter les conditions d'un coup de mine. La présence d'un excès de carbone libre dans la poudre lui a paru faciliter l'inflammation

(1) Galloway : *De l'influence de la poussière de houille,* traduit par M. Chansselle (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* 2ᵉ série, tome VI).
(2) *Compte rendu mensuel,* septembre 1877, page 5.
(3) *Annales des mines,* 7ᵉ série, tome VII, page 195.

du pulvérin. L'effet est d'ailleurs nul dès que les dimensions des grains deviennent une fraction appréciable du millimètre. M. Planchard, ingénieur du Grand-Treuil (1), en faisant réfléchir sur une planche inclinée le jet d'une boîte d'artillerie, a vu la flamme s'élever d'une manière assez grêle à 2 mètres environ ; tandis qu'en recouvrant le plancher de poussier de charbon, il obtenait une colonne volumineuse de flammes de 5 mètres de hauteur. MM. Clark et Hall ont cherché expérimentalement (2) si les brûlures produites fréquemment par les coups débourrés sont dues uniquement à la poudre explosive et non à des poussiers de mine. La détonation de 900 grammes de poudre ne s'est jamais communiquée à des matières inflammables placées à 5 mètres de distance. Elle a mis le feu à $4^{m},50$ une fois sur cinq. Mais, en revanche, on a obtenu un coup violent en mettant de la poussière dans la galerie.

Contrairement à l'opinion précédente, M. Verpilleux juge que la présence d'une certaine quantité de grisou est indispensable pour produire l'inflammation. Il compare (3) le gaz à la capsule et le poussier de charbon à la poudre dans les explosions. M. Galloway partageait d'abord cette manière de voir (4). Il affirme d'ailleurs que la présence des poussières surexcite notablement la tendance explosive du grisou, circonstance particulièrement redoutable dans les retours d'air (5). Il formule l'énoncé suivant : Un mélange d'un volume de grisou avec 60 parties d'air ne don-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome IV, page 228.

(2) *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 244.

(3) *Annales des mines*, 6ᵉ série, tome XII, page 561.

(4) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3ᵉ série, tome V, page 46. — *On the Influence of Coal dust in Colliery Explosions* (*Proceedings of the Royal Society*, nº 168, 1876).

(5) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3ᵉ série, tome V, page 167.

nant aucun signe appréciable de sa présence, une teneur encore plus faible de grisou dans 112 fois son volume d'air, peut cependant devenir inflammable à la température et à la pression ordinaires, s'il est accompagné de poussière de houille. D'où il faut conclure que le coup de feu peut se produire là où l'on ne soupçonne pas la présence du grisou. Dans ces derniers temps, M. Galloway a semblé admettre que les explosions de poussière peuvent avoir lieu sans la présence d'aucune trace de gaz (1). Des expériences directes de MM. Mallard et Le Châtelier viennent de trancher la question en montrant qu'en effet les poussières peuvent s'enflammer en l'absence complète du grisou (2).

M. Gonthier, ingénieur des mines, fait remarquer le peu d'étendue des coups de feu que l'on a été conduit à attribuer aux poussières seules en l'absence du gaz, sous prétexte qu'on ne l'avait pas vu marquer aux lampes. Il en conclut qu'elles ne peuvent en général jouer qu'un rôle secondaire, et que les désastres ne peuvent se généraliser que par leur réunion avec le grisou (3). On remarquera que cette manière de voir est en opposition avec celle de M. Galloway, que j'ai rapportée plus haut (p. 250). M. Delafond, ingénieur des mines, s'attache de son côté à réduire à une moindre importance l'opinion, exagérée suivant lui, que l'on se fait de l'influence des poussières de charbon. Il fait remarquer que l'explosibilité d'un mélange suppose avant tout l'égale densité et le même état physique des deux éléments qui le composent, ce qui n'a pas lieu pour les poussières et l'air. L'homogénéité ne s'obtiendra donc qu'assez difficilement sur des étendues no-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* 2ᵉ série, tome IX, page 157.

(2) Pièces annexées aux procès-verbaux, etc., page 58.

(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* 2ᵉ série, tome IV, page 222.

tables. L'auteur se demande, en outre, si la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion des pulvérins est suffisante ; d'autant mieux que, pour que la déflagration d'un grain atteigne le grain voisin et l'enflamme, il faut que le nuage soit assez épais. M. Delafond regarde comme non fondée l'opinion que des poussières, après avoir joué un rôle dans une explosion, auraient complètement disparu sans laisser leur trace ordinaire sous la forme de coke accumulé sur les parois. La première impression de la chaleur détermine, en effet, le dégagement de la matière volatile : de là un refroidissement qui retarde l'ignition du carbone et une auréole de gaz combustible qui en éloigne l'oxygène. Il s'en suit un retard pour l'oxydation, qui, avec la durée si courte du phénomène, devra laisser vraisemblablement la combustion incomplète.

La conclusion de M. Delafond est que les poussières ne peuvent avoir qu'une influence très effacée comme cause essentielle d'explosion, mais qu'elles en aggravent les conséquences par un supplément de gaz explosible et de produits asphyxiants. Il en sera surtout ainsi quand le gaz préexistera dans les travaux, car alors celui-ci, servant de véhicule à l'ignition, le nuage de poussière pourra être plus rare, laisser plus de place à l'oxygène et produire plus complètement ses effets. Le coup sera, en outre, plus violent, car, l'atmosphère de grisou se trouvant toute formée, tandis qu'elle a sans cela besoin de se constituer par la distillation des poussières quand elles existent seules, la vitesse de propagation se trouvera évidemment augmentée. M. Delafond pense, d'ailleurs, que, dans les coups de feu attribués uniquement aux poussières, il a pu y avoir souvent du grisou resté inaperçu. Il fait encore remarquer que le gaz se dégage surtout au commencement de l'exploitation d'un quartier, tandis que les poussiers deviennent abondants principalement vers la fin. Or, dans les bassins de Saône-et-Loire, le nombre et l'importance

des accidents ont paru suivre toujours une marche décroissante avec l'état d'avancement des travaux, ce qui tendrait à les faire rapporter beaucoup plus au gaz qu'aux poussières.

M. Pinel fait remarquer que l'intensité des effets doit aussi dépendre du mode d'inflammation. Avec une lampe, l'explosion reste très circonscrite; pour un coup de mine, elle peut dépasser 35 mètres, comme à Campagnac. Si le grisou intervient, la déflagration prend une toute autre importance (1).

24. — *Moyens préventifs.* — Nous nous sommes bornés, dans cette première partie du présent rapport, à l'étude des propriétés générales, en remettant à la seconde l'examen des moyens préventifs. Mais, pour en finir avec la question des poussières, je citerai de suite les précautions que l'on a indiquées en ce qui les concerne spécialement.

Il convient d'abord d'éviter pour les coups de mine des charges trop fortes et des directions propres à soulever les masses de poussière qui gisent sur le sol.

Il faut aussi pratiquer le balayage et l'arrosage des galeries, particulièrement de celles où la circulation est la plus active. Cet arrosage a été organisé à Blanzy, Jabin, Saint-Eloy, etc. Le personnel souterrain y répugne parfois, à cause de la malpropreté qu'il entraîne. On a proposé l'emploi de la lance d'eau pour nettoyer les parois et les boisages, plus difficiles à maintenir humides que la sole elle-même. De petites pompes à incendie, roulant sur les rails, rendent ce service facile. On a indiqué également une sorte de pulvérisateur pour abattre les poussières de l'atmosphère quand elle en est très chargée. M. Séré a proposé des jets de vapeur, ce qui est complètement contre-indiqué,

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome IV, page 223.

car ils exigeraient une canalisation générale ou un système de chaudières roulantes, à provision de vapeur sans feu nu; et, en outre, on échaufferait bien inutilement l'air de la mine. Il importe, du reste, que l'arrosage, une fois adopté, soit appliqué avec une grande régularité et la fréquence nécessaire pour être vraiment efficace. A Saint-Étienne, on le regarde comme un préservatif insuffisant. On a proposé de le restreindre aux régions grisouteuses. Il faut cependant faire remarquer que, si le danger d'inflammation réside particulièrement sur ces points, celui de l'aggravation par le fait des poussières se trouvera partout.

On a essayé dès 1876, au puits Jabin, l'emploi d'une dissolution de chlorure de calcium. Ce sel, très hygroscopique, pourrait peut-être être employé en poudre dans les dressants où il est difficile de pratiquer l'arrosage. Il avait été essayé sous cette forme, par l'administration de la ville de Paris, pour fixer la poussière dans l'avenue des Champs-Élysées au moment où l'encombrement des voitures rend l'arrosage impossible.

On peut encore voir dans la préservation des poussières combustibles un avantage de plus à ajouter à ceux qui ont parfois conduit à mettre dans le rocher les maîtresses-voies de roulage au lieu de les laisser comme à l'ordinaire dans le gîte lui-même. De tels ouvrages sont loin d'être inadmissibles au point de vue économique. On en voit, par exemple, sur une très grande échelle, au Creuzot, au Montceau, à Brassac, etc.

DEUXIÈME PARTIE.

MOYENS PRÉVENTIFS EMPLOYÉS CONTRE LE GRISOU.

---

§ VII. — GÉNÉRALITÉS SUR LA VENTILATION DES MINES.

35. — *Température.* — Le problème de la ventilation des mines présente deux faces distinctes. Il s'agit de maintenir dans de justes limites, à la fois la composition et la température de l'atmosphère intérieure. Cette question de la température est très essentielle au point de vue de l'hygiène de la population souterraine, et en même temps de l'effet utile à retirer des travailleurs, surtout lorsqu'à l'influence de la chaleur se joint celle de l'humidité. On a vu des hommes résister, pourvu que ce fût pendant un temps suffisamment court, dans une atmosphère sèche à 60 et 80 degrés. Au contraire, l'humidité, déjà pénible à partir de 25 degrés, rend absolument insupportable, même pour une très courte durée, une température de 35 à 40 degrés (1). Ajoutons, pour ne pas sortir de notre sujet spécial, que l'élévation de la température dessèche les poussières et les prédispose à l'embrasement, qu'elle rapproche les mélanges gazeux du point d'inflammation qui est propre à chacun d'eux, qu'elle prépare l'échauffement du charbon avec l'incendie et ses conséquences, etc.

Il faut donc lutter contre les causes qui tendent à élever le thermomètre, telles que la chaleur centrale, la respiration des hommes et des chevaux, la combustion des lampes, le tirage des coups de mine, l'oxydation des py-

---

(1) FAYOL : *Étude sur les incendies souterrains de Commentry.*

rites et la dissociation des carbures, les incendies souterrains, etc. L'injection incessante de grandes masses d'air est le seul moyen de paralyser toutes ces influences (1).

En ce qui concerne la composition chimique et les altérations auxquelles elle est exposée, il y a encore lieu d'envisager deux côtés du phénomène. L'atmosphère peut se trouver viciée, d'une part, en raison d'une soustraction d'oxygène par la respiration, la combustion, la suroxydation de matières minérales, la fermentation de la houille, des bois, des fumiers, etc.; ou, d'un autre côté, par le dégagement de gaz étrangers dus, soit aux phénomènes précédents, soit à la combustion de la poudre, à la production du grisou, de l'acide carbonique, etc. Le remède tout indiqué consiste encore dans un abondant envoi d'air extérieur qui tout à la fois introduira l'oxygène nécessaire et rendra inoffensive la proportion des gaz nuisibles en les noyant dans une masse suffisante.

36. — *Volume d'air.* — Le premier point à envisager est donc la quantité d'air qu'il est nécessaire d'introduire par unité de temps dans les travaux. Malheureusement les indications que l'on possède à ce sujet présentent assez peu d'accord entre elles.

M. Schondorff admet (2) qu'un bon aérage ne doit pas laisser la perte en oxygène dépasser la proportion de 1,5 p. 100, le développement d'acide carbonique 0,5, et celui d'hydrogène protocarboné 0,6. Les trois chiffres qui mesurent dans chaque cas particulier ces divers genres d'altérations constituent pour lui le *tempérament chimique* de la mine. Les deux influences essentielles qui contribueront à les déterminer sont évidemment le chiffre de la popula-

---

(1) M. Romanowski a conseillé des dépôts de glace dans les mines. Cette proposition se réfute par elle-même.

(2) Recherches sur l'aérage des houillères (*Journal de Carnall*, tome XXIV, page 73).

tion souterraine, hommes et chevaux, et l'importance du dégagement du grisou.

En ce qui concerne le premier élément, un homme absorbe avec sa lampe, d'après M. Schondorff, 50,5 litres d'*oxygène* par *heure* en dégageant 38,5 litres d'acide carbonique. Un cheval absorbe 100 litres d'oxygène et développe 90 litres d'acide carbonique. Callon indique des chiffres sensiblement différents (1) : 12 à 13 litres d'*air* par *minute* pour l'homme et trois fois plus pour le cheval. Le général Morin, dans ses recherches sur la ventilation, réclame pour une chambre fermée un renouvellement d'air de 100 mètres cubes par heure et par personne. M. T. Wills demande par homme et par minute 2^{m^3},8, dont 0^{m^3},013 seulement sont consommés par la respiration, et le reste est ajouté pour les causes accessoires (2). M. Demanet (3) indique pratiquement 25 mètres cubes par homme et par heure, à savoir, 14 pour l'ouvrier, 7 pour sa lampe, 4 pour le fait des miasmes intérieurs proportionnels à la population; un cheval compte pour trois hommes. Ces chiffres supposent l'absence de grisou; la quantité destinée à diluer ce gaz vient en sus.

Quant à l'importance du dégagement du grisou, nous avons vu ci-dessus qu'on peut, toutes choses égales d'ailleurs, la considérer comme proportionnelle au tonnage de l'extraction. Aussi l'instruction administrative de 1872, relative aux mesures de sûreté et à l'aérage (4), adopte-t-elle cette base, en réclamant, sauf des circonstances spéciales, un nombre de mètres cubes d'air par seconde variant entre un vingtième et un dixième du nombre de

---

(1) *Cours d'exploitation des mines*, tome II, page 410.

(2) *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3ᵉ série, tome VII, page 159.

(3) DEMANET : *Cours d'exploitation des mines de houille*, tome II, page 85.

(4) *Annales des mines*, partie administrative, 7ᵉ série, tome I, page 139.

tonnes extraites par vingt-quatre heures; à quoi il sera sage d'ajouter un excédant de puissance disponible pour un cas pressant. Le chiffre précédent se trouvera d'ailleurs trop faible pour des mines peu productives, et excessif pour une production forte et très concentrée, ce dernier cas constituant d'ailleurs de plus en plus la tendance suivie en général, dans le but de simplifier la surveillance du personnel et l'entretien des travaux.

La moyenne des résultats relevés pour trente-cinq mines du bassin de la Ruhr, dans une enquête administrative, a donné les résultats suivants (1) :

Étendue du champ d'exploitation.	77 hectares
Production journalière	443 tonnes
Nombre de couches exploitées.	6,6
Nombre d'ouvriers du poste principal.	267
Volume d'air par minute : total.	458^{m3},410
— — par hectare.	6 ,120
— — par tonne.	1 ,034
— — par ouvrier.	1 ,712

Cet aérage est d'ailleurs considéré en général comme plutôt insuffisant qu'excessif.

En Angleterre on donne beaucoup plus d'air et on arrive même à des chiffres énormes tels que celui de la mine de Hetton : 106 mètres cubes par seconde ou 6.360 par minute (2).

37. — Mais il est un point sur lequel on ne saurait trop insister et sans lequel ces chiffres auraient bien peu de valeur. C'est la nécessité de brasser très complètement le courant. En effet, dans une galerie, comme dans le lit d'une rivière, le fluide a une tendance marquée à cheminer par filets parallèles qui ne se mélangent que difficilement les uns aux autres. On peut donc, à côté d'une masse d'air inaltéré, rencontrer du grisou presque pur ou un mélange à la pro-

(1) Voisin : *Annales des mines*, 7e série, tome IV, page 270.

(2) *Bulletin de la Société d'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 761.

portion explosive. M. Guibal voudrait à ce point de vue voir multiplier des portes d'aérage convenablement disposées. On trouve également dans cette préoccupation la raison d'être de procédés bizarres qui étaient autrefois employés par les anciens et que l'on retrouve mentionnés jusque dans Pline. Fysen rapporte en 1696 que les ouvriers chassaient le gaz à coups de bâton et de verges. D'après Agricola, c'était en agitant des toiles ou des habits (1). Les mineurs le font encore parfois à Bessèges, bien que le règlement le leur interdise dans la crainte que cette agitation ne fasse sortir la flamme du tamis des lampes. La nécessité de ce mélange a été mise d'ailleurs en évidence par un accident survenu précisément à Bessèges, où une masse de mauvais air chassée de son repaire par la chute d'une certaine quantité d'eau dans le puits a cheminé très loin sans se mélanger au courant général et est venue s'enflammer sur un foyer à l'orifice du puits (2).

38. — Une manière de voir nouvelle tend depuis peu à se produire. Elle a même reçu un concours puissant dans l'opinion exprimée par deux hommes considérables : M. Galloway (3) et M. Boussingault (4). On accuse une ventilation *trop active* d'être la principale cause de la très grande extension qu'ont prise dans ces derniers temps les coups de feu, autrefois confinés dans un espace beaucoup plus restreint. M. Dubief estime qu'un courant d'air trop rapide passe devant les cloches sans y pénétrer aussi bien que le ferait une circulation modérée (5). On reproche

---

(1) *Revue universelle de Cuyper*, 1er volume de 1877, page 79.
(2) PARRAN : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1re série, tome VII, page 331.
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 841.
(4) *Journal officiel* du 26 février 1876.
(5) *Comptes rendus mensuels*, mai 1879, p. 111.

aussi à cette grande activité de soulever les poussières et d'empêcher l'explosion d'être étouffée à peu de distance. M. Galloway l'exprime par cette formule : *encore plus d'eau* en même temps que *encore plus d'air*, quand le courant dessèche les poussières (1). M. Grand-Eury rappelle que, dans le langage des mineurs de Saint-Étienne, *le grisou est mangé par la force*, c'est-à-dire paralysé par la désoxydation de l'air. On comprend, en effet, que, si on ne va pas jusqu'à noyer le gaz dans une quantité d'air suffisante pour abaisser sa proportion au-dessous du point explosif, tout ce qu'on ajoute d'oxygène est précisément un aliment pour la combustion. De plus un demi-aérage a pour effet de déplacer le grisou qui aurait pu rester dans des coins à l'état inoffensif et de le faire entrer en scène sans désarmer sa puissance par un excès d'air.

En présence de cette manière de voir que la Commission ne saurait accepter, elle regarde comme de son devoir, dans une matière aussi grave, de réagir contre cette innovation et de rappeler avec la circulaire ministérielle de 1872 que, sans être le seul préservatif à employer contre les dangers du grisou, l'envoi d'un excès d'air *capable de noyer ce gaz* reste certainement l'un des plus efficaces. On peut dire qu'il est le dernier, avec le treillis de sûreté, auquel il serait permis de renoncer.

MM. Marsaut, Fumat et Dombre se rencontrent dans la même formule en disant que, tout en conservant bien entendu la lampe de sûreté, il faudrait pouvoir circuler dans toute la mine à feu nu. M. Guibal estime que l'ingénieur est aujourd'hui suffisamment armé pour que des explosions *générales* ne dussent jamais avoir lieu, parce que suivant lui elles supposent ou bien des poussières qu'il faudrait abattre, ou une *infection complète* qu'une surveillance suffisante de-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 679.

vrait être capable de prévenir, et dont le meilleur antidote sera toujours l'envoi d'un excès d'air. Par contre, il pense que les coups de feu partiels et locaux tiennent à des causes si diverses, si multipliées et si inopinées, que l'on ne doit pas espérer pouvoir jamais se considérer comme assuré de n'en avoir aucun. M. Vicaire a discuté avec beaucoup de développements l'opinion que nous combattons, dans une note insérée au recueil des pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission (1). A la vérité l'excès d'aérage risque de faire sortir les flammes des tamis, mais il suffit à cet égard de réduire la vitesse en donnant aux galeries des sections suffisantes et répartissant le courant en plusieurs circuits dans la mine. Quant à l'intensité du coup de feu, s'il vient à se produire, elle est indépendante de la vitesse de circulation, laquelle, quoique comparable à celle d'inflammation, est peu de chose par rapport à la rapidité de la propagation due à l'expansion dynamique de l'atmosphère. Elle n'influe du reste nullement sur la quantité d'air qui s'introduit pendant la durée du phénomène, cette durée étant négligeable. Mais il est une considération capitale qui exige un aérage vif, c'est celle de la respiration des hommes. L'air pour être respirable doit contenir au moins 15 p. 100 d'oxygène. L'atmosphère naturelle en renferme 21. On trouvera donc prudent de ne pas descendre au-dessous de 18, ce qui représente une perte de 3 p. 100 ou $\frac{1}{7}$. Il faut d'après cela, pour ne parler que du grisou comme cause de viciation, envoyer au moins six fois plus d'air qu'il ne se dégage de gaz. Mais cette proportion correspond à peu près à la teneur la plus explosible. On se trouve par suite forcé d'exagérer encore l'envoi d'air, et beaucoup même, pour tenir compte des défauts d'homogénéité de la masse, qui seraient d'ailleurs surtout sensibles avec un aérage restreint. Si on méconnaissait le point de

(1) Pièces annexées, etc., page 13 à 21.

vue précédent, on risquerait, en rétablissant l'ancienne anémie des mineurs, d'avoir une mortalité comparable ou supérieure à celle qui est due aux coups de feu.

Il importe d'ailleurs de remarquer que la tendance recommandée à la fois par le Conseil des mines et par la Commission, et presque universellement admise d'ailleurs, comporte par elle-même une limite. Il est en effet un maximum de dépression motrice, caractéristique de chaque mine, que l'on n'a aucun intérêt à dépasser, car on n'arrive plus ainsi qu'à lutter contre un excédant de résistances passives et augmenter les filtrations dans les remblais sans faire croître sensiblement à partir de ce point la vitesse de circulation (1). Le nombre de *millimètres* d'eau recommandé par M. Devillez est donné par la formule

$$0{,}0018 \frac{lpv^2}{s},$$

dans laquelle p désigne le périmètre et s la section de la galerie, l la longueur et v la vitesse.

32. — *Vitesse.* — En ce qui concerne la rapidité du courant, il est bon qu'elle ne varie pas dans des limites très étendues. La valeur la plus convenable paraît être $0^m{,}60$ et il ne faut pas dépasser $1^m{,}20$ par seconde. Trop faible, la vitesse ne produirait pas un entraînement suffisant des mauvais gaz. Trop forte, elle tend à faire sortir la flamme des lampes de leur treillis protecteur, à soulever les poussières, et à occasionner des refroidissements aux hommes en transpiration.

La valeur de la vitesse dépend à la fois du débit du courant et de la section des galeries; je ne parle pas de la pression, qui est sensiblement constante. Des galeries trop étroites opposent une grande résistance. M. Heissbach

---

(1) HAMAL et SCHORN : *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXII.

réclame trois à quatre pieds cubes d'air dans les petites galeries de 16 à 24 pieds carrés, et 6 à 7 pieds cubes dans les grands travers-bancs de 45 à 50 pieds carrés de section (1).

Il est d'ailleurs nécessaire de ne pas oublier que la masse fluide ne s'avance pas tout d'un bloc avec une même vitesse, mais au contraire par tubes concentriques. Je veux dire que la vitesse n'a pas la même valeur dans tous les points d'une section. Ce phénomène bien connu pour l'eau et mis en évidence par les beaux travaux et les nombreux diagrammes relevés par M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées Bazin (2), a été envisagé en ce qui concerne l'air par MM. Aguillon, Fumat et Murgue (3), qui ont déterminé les courbes d'égale vitesse dans une même section de la galerie. On doit voir dans l'irrégularité de leur répartition pour des sections très rapprochées un motif de plus de soigner les parois et d'y éviter les anfractuosités, puisqu'on ne peut compter pour les laver que sur une vitesse très réduite et non sur la valeur moyenne ni surtout sur la vitesse maximum. C'est pourtant cette dernière qui est le plus immédiatement appréciable, par la sensation de fraîcheur au visage, par l'inclinaison de la flamme ou par les mesures directes, si on n'apporte pas dans ces dernières les précautions nécessaires pour qu'elles fournissent une véritable moyenne.

Je dois encore appeler l'attention sur cette circonstance que le mouvement des véhicules peut modifier momentanément la vitesse de régime. Cet effet est sensible, par exemple, à Montrambert et à la Béraudière, pour les parties voisines des puits jumeaux dans lesquels la cage, quoique munie d'un plancher à claire-voie, fait l'effet d'un piston.

---

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1868, page 14.
(2) *Mémoires présentés à l'Institut par divers savants*, tome XIX.
(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 738.

Il en est de même dans la galerie des locomotives de Cessous, où le volume oscille, suivant le sens du mouvement des trains, entre $15^{m^3},156$ et $13^{m^3},814$ (1).

Remarquons encore avec M. Le Châtelier qu'aux anfractuosités il se produit des remous que le courant emporte ensuite avec lui dans son mouvement de translation, comme on l'observe dans les rivières en aval des piles de ponts ou encore dans les mouvements de l'atmosphère. Si la vitesse à la circonférence est v et celle de la translation u, la vitesse absolue sera d'un côté du tourbillon $u + v$ et de l'autre $u - v$ dont la différence $2v$ est très appréciable.

40. — *Disposition du courant.* — Indiquons maintenant à grands traits la disposition générale qu'il convient de donner au courant, dans l'ensemble des travaux.

M. Delafond fait remarquer avec justesse que la distribution de l'air dans une mine peut être souvent obtenue avec plus de netteté pendant la période de traçage que dans celle du dépilage. C'est du reste une circonstance favorable, car le premier intervalle est ordinairement le plus dangereux sous le rapport du dégagement du gaz.

On doit énoncer en première ligne le principe de la *circulation ascensionnelle*, d'après lequel il faut faire arriver le courant d'air par le fond du puits le plus creux et le développer ensuite de manière qu'il aille toujours en montant, en n'admettant autant que possible aucun parcours de haut en bas. L'air tend en effet par son introduction dans les travaux à s'échauffer c'est-à-dire à se dilater, et en outre à se charger de vapeur d'eau et de grisou, double influence qui tend encore à diminuer sa densité. Il a donc une prédisposition à s'élever, que l'on doit chercher à se donner pour auxiliaire et non comme obstacle. Cette pré-

(1) Murgue : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 748.

caution prend encore plus d'importance le long des fronts de taille, où le grisou se dégage à l'état de pureté et avec une forte tendance à monter. On exprime ordinairement cette vérité en recommandant d'éviter l'aérage *à rabat-vent.*

MM. Guibal, Burat et Mallard trouvent cependant que l'on exagère ordinairement l'importance de ce précepte. Il peut, par exemple, devenir utile de renverser le courant pour combattre les feux avec l'air au dos en les attaquant successivement de tous les côtés; ou encore pour dégeler en hiver le puits d'extraction quand les clichages sont encombrés de glaçons. On a du reste cru remarquer que l'intérieur se trouvait pour un certain temps assaini par un tel renversement, ce qui s'explique par le trouble apporté dans des parties qui n'étaient que difficilement influencées par le mode ordinaire. Cependant le principe est nécessaire à conserver, afin d'avoir pour soi, surtout en cas d'arrêt du ventilateur la tendance spontanée de l'air à monter, de placer les moulineurs des recettes ainsi que les herscheurs de la voie de fond dans une atmosphère pure et non dans le retour d'air, et en même temps les câbles dans de meilleures conditions de conservation. On doit donc recommander *de ne plus faire redescendre le courant une fois qu'il a passé sur un point grisouteux.* Sans cela, en raison des défauts de mélange de l'air avec le gaz, celui-ci pourrait rester en cloche aux points maximum du courant. Bien entendu on ne considère pas dans cet énoncé comme une descente une simple pente de roulage libre sur rails. En Belgique l'aérage à rabat-vent n'est admis que sur autorisation administrative et pour 10 mètres au maximum. L'air doit monter dans les maintenages et redescendre par une pente douce.

41. — Le principe de la *subdivision du courant* est tout aussi essentiel. Il a été appliqué pour la première fois en

1805 à Walsend (Newcastle) par Buddle, sous le nom de Splitting system. La théorie montre que l'on diminue dans une énorme proportion la résistance à vaincre si, au lieu de faire passer partout un courant unique, on le partage en un certain nombre de dérivations qui parcourent chacune une partie des travaux. En outre il est naturel qu'une masse d'air une fois infectée soit conduite au jour par le plus court chemin, au lieu d'être promenée dans tous les chantiers, en passant sur toutes les lampes. La subdivision permet aussi, au moyen de légères variations apportées à la distribution respective dans les diverses sections, de venir en aide à la ventilation de la région qui, pour un moment, inspire plus de préoccupation qu'à l'ordinaire, avant d'en venir à faire varier le total de l'aérage, ce qui serait au contraire la seule ressource avec un courant unique. Enfin les moyens matériels employés pour réaliser cette division établissent entre les quartiers une séparation qui ne sera pas tout à fait sans valeur contre des coups de feu modérés. Ceux-ci pourront donc être plus circonscrits dans leurs effets destructeurs, et le sauvetage sur le théâtre de l'accident sera facilité par la conservation des régions voisines et de leur personnel.

L'idéal de l'application du principe de la subdivision du courant serait que chaque quartier eût sa dérivation spéciale avec une entrée et une sortie au jour distinctes. Mais ce *desideratum* ne pourra presque jamais être obtenu. Lorsque, comme c'est le cas ordinaire, tous les courants se réunissent dans un même retour d'air général, il importe au moins de se poser comme objectif que le sens d'aucun d'eux ne puisse être renversé par une explosion. Ceci même est difficile à réaliser à coup sûr, et l'on ne voit guère que les portes Verpilleux qui puissent donner une demi-sécurité à cet égard.

Il convient toutefois de faire observer (1) que la division

(1) Devaux : *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XX, p. 153.

du courant présente un inconvénient qui, à la vérité, ne saurait entrer en balance avec les motifs précédents. On comprend en effet que des causes diverses pourront arrêter ou ralentir une de ses branches sans qu'on en soit averti dans tout l'ensemble comme avec le courant unique. Mais le remède se trouvera dans une surveillance plus attentive.

42. — En théorie la section offerte au courant devrait aller toujours en croissant pour lui conserver la vitesse que l'on a jugée convenable, car nous avons vu que toutes les influences qu'il subit tendent à le dilater. On doit donc ne pas se lasser d'affirmer la *nécessité des grands retours d'air*, beaucoup trop méconnue dans l'application. Il convient également d'y laisser toujours une voie de roulage pour en faciliter les réparations. Les ingénieurs doivent se faire une obligation personnelle de les visiter périodiquement pour s'assurer de leur état, souvent trop négligé.

43. — Il est nécessaire d'apporter un soin particulier à *éviter toutes les anfractuosités* dans lesquelles des masses gazeuses pourraient se loger à l'état statique, ou tournoyant lentement, sans être incessamment lavées par le courant; car la proportion du grisou pourrait s'y accroître à loisir jusqu'au degré explosible. On ne remédierait nullement à cet état de choses en forçant la ventilation. Le courant se bornerait à passer avec plus de vitesse devant la masse stagnante qu'il attaquerait à peine. La configuration des travaux, en grand comme en détail, permet seule d'obtenir le résultat voulu.

Le revêtement des galeries constitue à cet égard une question d'une véritable importance. Les boisages, par leur équarrissage nécessairement important, donnent lieu à des rentrants très marqués. De plus les incessantes réparations qu'ils occasionnent tendent à faire jouer le plafond, à le fendiller, et à y créer des nids de grisou d'où il

est impossible d'extraire le gaz. Le soutènement en fer diminue beaucoup cet inconvénient, même avec les cadres mixtes composés de montants en bois et de chapeaux métalliques, car c'est toujours au toit de la galerie que se trouve la partie la plus critique. La maçonnerie lisse résout la question d'une manière complète. A Beaubrun, M. Baretta n'hésite pas, pour peu qu'une galerie ait trois années de durée probable, à la murailler de suite sur 1^{m},80 de largeur et 1^{m},90 de hauteur.

44. — M. Murgue a mis en avant sous le nom d'*aérage diagonal* un principe qui a sa valeur. Il consiste à placer autant que possible le puits d'entrée et celui de sortie aux deux points les plus éloignés du réseau de travaux, en vue d'avoir un circuit à la fois plus court et moins compliqué, par suite plus exempt de pertes dans les remblais et de rétrécissements et résistances aux portes, qu'avec un tracé qu'il faudrait ramener presque au point de départ. Bien entendu, il convient de réserver le cas du début d'une exploitation qui n'a pas encore atteint le développement auquel elle est appelée pour l'avenir, au moment où l'on perce les puits. De même on doit avoir égard aux avantages que présente à d'autres égards l'emploi des puits jumeaux, qui tend de plus en plus à se répandre dans beaucoup de mines telles que celles de Liévin, Montrambert, Ronchamp, etc.

45. — Rien n'est plus simple que ces divers principes qui doivent être considérés comme le *vade-mecum* de l'exploitant; la question de sécurité devant évidemment primer celle de la dépense pour leur mise en œuvre. Il faut encore signaler à cet égard les avantages que l'on retirera de la tenue de *plans spéciaux d'aérage* représentant tout le développement du courant avec ses bifurcations, les volumes qui passent dans chaque branche, etc., et

permettant ainsi aux ingénieurs de se rendre un compte facile et complet de toutes les circonstances de la ventilation.

M. Mallard recommande, d'après l'exemple de M. l'ingénieur en chef des mines Jutier, de les établir sur le modèle des cartographes employés pour représenter le trafic des chemins de fer par des traits d'une largeur proportionnée au volume qui passe dans chaque travée. On arrive facilement de cette manière à saisir d'un seul coup d'œil tout l'ensemble.

46. — On doit insister également sur l'utilité de la création dans chaque mine d'un personnel particulier de ***surveillants d'aérage*** ou ***chercheurs de grisou***. Cette institution est déjà obligatoire en Belgique (1). Ces hommes, choisis avec soin parmi ceux qui ont le plus d'expérience, de conscience et de sang-froid, sont soustraits par la spécialité de leur service aux autres préoccupations qui pèsent sur le maître mineur et sont de nature à détourner son attention. Constamment en circulation, ils inspectent les chantiers et signalent ceux qu'il est urgent d'évacuer pour un danger actuel, aussi bien que les mesures protectrices à prendre sur d'autres points contre des invasions plus lentes.

47. — *Orifice équivalent.* — Un dernier élément essentiel de l'aérage est la dépression : elle reste toujours très faible, et c'est un principe classique que les mines ont besoin, non d'une petite quantité d'air à une grande pression, mais, au contraire, d'une grande quantité d'air à une faible dépression. Celle-ci sera parfois de un, deux, trois centimètres d'eau, rarement plus de dix, quoique les moyens mécaniques permettent à la grande rigueur de doubler ce chiffre, si cela devient nécessaire.

M. Guibal, pour des motifs théoriques, résume les con-

(1) Arrêté royal du 1er mars 1850.

ditions essentielles de l'aérage d'une mine dans la valeur numérique du quotient de la dépression par le carré du débit, fraction à laquelle il a donné le nom de *tempérament mécanique.* Il a présenté aux expositions universelles de Vienne et de Paris (1878) un appareil nommé par lui *contrôleur d'aérage*, qui fournit à chaque instant la valeur des deux termes de l'expression $\frac{h}{Q^2}$. Le manomètre fait connaître la dépression h et d'autre part un liquide tournant avec une vitesse proportionnelle à celle ω du ventilateur se creuse en parabole dont le paramètre varie en raison de ω^2 et par suite du carré Q^2 du volume d'air injecté.

M. Murgue, ingénieur de la compagnie de Bességes, associe les deux éléments précédents d'une manière différente et extrêmement claire. Il compare tout l'ensemble des résistances d'une mine à un type uniforme, le plus simple de tous : l'orifice en mince paroi. Il caractérise donc une mine quelconque par l'orifice à travers lequel la même dépression déterminerait le passage de la même masse d'air dans le même temps. Ce chiffre, que la théorie déduit très simplement des deux éléments en question, permet ainsi de classer sur une seule liste toutes les mines sous le rapport de la facilité ou de la résistance relatives qu'elles présentent à la ventilation.

L'auteur de cette ingénieuse conception présente un tableau très intéressant (1) de quatre-vingt-quatorze mines pour lesquelles il a pu calculer *l'orifice équivalent.* Le minimum pour l'ensemble de cette liste est $0^{m^2},1660$ au charbonnage du Grand-Hornu en Belgique (1844). Le maximum, $4^{m^2},3000$, se rapporte à la mine de Hetton en Angleterre (1865). En ce qui concerne en particulier la France, les exemples que M. Murgue a eus à sa disposition sont encore

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome II, page 445; tome IV, page 752 ; et tome IX, page 93.

peu nombreux. Le minimum est de $0^{m^2},3430$ à Sainte-Marie d'Azincourt (28 janvier 1856) et le maximum $1^{m^2},1270$ à Créal de la compagnie de Bességes (26 mars 1876). La moyenne générale pour l'ensemble diffère peu de 1 mètre carré. Cette circonstance a suggéré à M. Murgue une classification très rationnelle. Il distingue les mines en *étroites* ou *larges*, suivant que l'orifice équivalent est inférieur ou supérieur à 1 mètre carré. Il appelle de même mines *moyennes* celles dont l'orifice s'écarte peu de cette valeur, par exemple, entre $0^{m^2},80$ et $1^{m^2},20$.

Les mines belges sont étroites; ce qui tient en partie au peu de puissance que présentent en général les couches de cette région, et aussi à une certaine insuffisance des retours d'air. Leur moyenne est de $0^{m^2},8000$. Il se manifeste, sous ce rapport, une grande amélioration, car elle était de $0^{m^2},3162$ vers 1843. Les mines anglaises sont, au contraire, très larges, leur moyenne atteignant $1^{m^2},8000$. On ne peut encore formuler de résultats généraux pour la France. Il est probable que, les conditions des bassins du Nord se rapprochant de celles de la Belgique, ces mines doivent être en général étroites, malgré les soins pris pour leur aérage, tandis que celles du Centre et du Midi sont plus larges. L'aménagement des travaux peut beaucoup dans cette question. La mine de Créal, par exemple, avait pour orifice équivalent dans son ancien état $0^{m^2},6290$. Une première rectification a porté ce chiffre à $0^{m^2},9190$, et depuis de nouvelles améliorations l'ont amené à $1^{m^2},1270$.

48. — *Appareils de mesure.* — La mesure expérimentale de la quantité d'air qui circule dans une mine s'obtient aisément en appréciant à la fois la section, la dépression et la vitesse. Pour connaître cette dernière, on se contente parfois de mesurer la rapidité avec laquelle on est obligé de marcher dans le sens du courant pour que la flamme de la lampe se tienne droite. On peut également chaîner

une distance fixe, faire briser une ampoule d'éther en amont du courant à un signal donné et apprécier le temps que son odeur caractéristique mettra à parvenir à la seconde station. Plus simplement encore on se sert de l'odeur de la poudre, dont la lumière forme signal par elle-même, ou de celle de l'amadou. M. Murgue a indiqué les précautions à prendre pour éviter les causes d'erreur de ce procédé (1). Toutefois, on doit, pour des recherches délicates, et à condition que la vitesse dépasse $0^m,30$, afin qu'elle soit capable de faire tourner une roue, préférer à ces moyens l'emploi des anémomètres, simples ou enregistreurs. Il en existe un assez grand nombre. Indépendamment du pendule que le courant écarte de la verticale sous un angle qui dépend de la vitesse, on peut citer les appareils Arson, Bianchi, Biram, Bourdon, Buis et Sombart, Buxton, Casartelli, Combes, Davy and son, Dickinson, Fuss, Hardy, de Hennant, Kallstenius, Francisque Michel, Leslie, Morin, Newmann, Van Eck, Vicaire (2). L'étude de ces instruments, ainsi que celle des formules qui servent à relier la valeur numérique de leurs indications à celle des vitesses correspondantes, nous entraînerait évidemment hors des limites de ce rapport. Toutefois, une remarque très importante doit trouver ici sa place. Elle est due à MM. Aguillon, Fumat et Murgue. Elle consiste en ce que toutes les expériences faites jusqu'ici avec des anémomètres, gradués comme on le fait d'ordinaire à l'aide du mouvement relatif qu'on leur imprime dans un air tran-

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome II, page 475.

(2) *Transactions of the North*, etc., tome X, pages 207, 216 233, 238, 239. — *Compte rendu annuel*, etc., octobre 1877, page 3; novembre 1877, page 16. — Pièces annexées aux procès-verbaux, etc., page 53. — *Les Mondes*, tome XLVIII, page 566. Le plus ancien anémomètre est probablement celui d'Ons-en-Bray pour les courants atmosphériques (*Mémoires de l'Académie des sciences*, 1734, page 123).

quille, doivent être considérées comme ayant fourni des indications exagérées. On sait, en effet, d'après Dubuat, qui l'a constaté directement pour l'eau (1), que cet état de choses présente des différences importantes avec le mouvement absolu d'une veine mobile qui viendrait frapper l'anémomètre en repos (2).

Parmi les appareils de mesure qui se rattachent à la ventilation des mines, je citerai encore les deux indicateurs d'aérage de M. de Vaux, pour reconnaître les perturbations du courant (3), et les appareils Bia et Durant, le *mouchard* de Mons, destinés à contrôler les ventilateurs (4). M. Guibal a proposé un baromètre différentiel pour donner les différences de pression en divers points des galeries (5). Citons de même le compteur graphique de Hennant; les avertisseurs Duber et Delsaux, qui sifflent quand la vitesse s'abaisse au delà d'un certain point; l'appareil Murgue, destiné à faire connaître le volume d'air (6).

49. — Les travaux de la Commission ont donné naissance à trois nouveaux appareils de mesure.

Le premier, dû à M. Vicaire, ingénieur des mines, a pour but de faire connaître, par la mise en train d'une sonnerie électrique, le moment où la vitesse de l'air descend au-dessous d'une limite déterminée. Cet organe se compose essentiellement d'une palette légère placée au sommet d'une tige qui peut osciller autour d'une arête de

---

(1) DUBUAT : *Principes d'hydraulique.*

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, page 504. — *Compte rendu mensuel*, 3 octobre 1877.

(3) *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XX, pages 153 et 168.

(4) *Revue universelle des mines et des usines*, tome XL, page 272. — *Echo des mines*, 1877, page 116.

(5) *Revue universelle des mines et des usines*, 1er volume de 1877, page 111.

(6) *Compte rendu mensuel*, mai 1880, page 120.

suspension. Cette palette est exposée dans une position verticale à l'action du courant d'air, et un butoir l'empêche de dépasser cette position, qu'elle conserve tant que la pression exercée par l'air est suffisante. Perpendiculairement à la tige, ainsi qu'à l'arête de suspension, est fixée une tige graduée sur laquelle un curseur de poids connu peut être amené dans diverses positions. Ce poids, qui tend constamment à écarter la palette de la position verticale, détermine l'effort et, par conséquent, la vitesse nécessaires pour la maintenir dans cette position. Deux écrous mobiles sur des tiges correspondantes permettent de faire varier le centre de gravité. On détermine ainsi un équilibre instable, et, pour peu que la pression vienne à diminuer, l'appareil bascule et ferme le circuit d'une sonnerie électrique. Tant que celle-ci fonctionne, elle indique que la vitesse est tombée au-dessous de la limite supérieure pour laquelle on a gradué l'appareil à l'aide des écrous, et qu'elle n'est pas remontée au-dessus d'une valeur supérieure capable de ramener la palette de sa position chavirée à la situation verticale.

M. Le Châtelier, ingénieur des mines, est l'inventeur d'un manomètre d'une sensibilité tout à fait extraordinaire. Il est fondé sur le principe du tube de Pitot, organe bien connu, qui peut servir à mesurer la vitesse de l'air aussi bien que celle de l'eau. Seulement, dans le cas de l'air, les pressions engendrées sont extrêmement faibles. Une vitesse de 1 mètre par seconde produit une dépression de 65 millièmes de millimètre d'eau. Pour de telles appréciations, le manomètre à eau ordinaire serait tout à fait insuffisant ; mais les modifications suivantes permettent d'effectuer des mesures à 1 millième de millimètre près. Les deux branches verticales présentent un diamètre de 50 millimètres pour annuler l'influence de la capillarité. La mesure de la dénivellation des deux surfaces est ramenée à celle du volume d'eau qu'il faut ajouter ou retrancher pour ramener l'affleu-

rement de l'eau dans une des branches à un point fixe. L'appréciation de ce volume se fait au moyen d'une vis à tête graduée qui remplit les fonctions de piston plongeur. Le point fixe d'affleurement est fourni par une pointe noyée dans le liquide. Dès qu'elle vient à émerger quand on la remonte, elle soulève par capillarité un ménisque que l'on peut rendre visible à l'aide d'un éclairement convenable de la surface ; comme, d'ailleurs, les dimensions horizontales de ce ménisque sont très grandes par rapport à sa hauteur il devient appréciable aussitôt que la pointe dépasse le niveau de l'eau d'une quantité extrêmement faible, inférieure, comme nous l'avons dit, à 1 millième de millimètre.

MM. Mallard et Le Châtelier ont construit un appareil destiné à indiquer les relations de la marche du ventilateur avec l'état de l'intérieur (1). On y voit deux manomètres à eau colorée, que je désignerai ici par A et B. Pour obtenir plus de sensibilité, on les a inclinés sur l'horizon, de manière qu'un plus grand parcours soit nécessaire pour racheter une différence de niveau donnée. Le manomètre A a ses deux niveaux liquides, l'un a dans l'atmosphère extérieure, l'autre a' au débouché du ventilateur. De cette manière, la colonne aa' est en relation immédiate avec les variations de la marche de l'appareil et n'est influencée, au contraire, que d'une manière très indirecte par ce qui peut se passer dans les travaux. Le manomètre B est mis en communication, au moyen de tubes, d'une part, avec l'air de la galerie souterraine, lequel se trouve au contact du niveau b de la colonne liquide ; son second niveau b' se trouve plongé dans la succion produite par un ajutage à travers lequel on fait passer le courant d'air. La vitesse V, dans l'ajutage, croît naturellement avec celle v de la circu-

(1) *Recueil des pièces annexées*, etc., page 146.

lation générale dans la galerie. La succion, qui est en raison de $\frac{V^2}{2g}$, comme dans l'expérience de Venturi, accusera donc les variations de la hauteur $\frac{v^2}{2g}$ due à la vitesse de l'aérage. D'après cela, cette colonne *bb'* pourra servir à apprécier les oscillations de ce dernier élément. On exagère encore la valeur que prend V, pour une même vitesse *v* de la ventilation, au moyen d'un artifice dû à M. Bourdon, et qui a été aussi employé dans d'autres circonstances par M. Kœrting. Il consiste dans la superposition de plusieurs ajutages, de telle sorte que chacun d'eux fonctionnant dans la dépression produite par le précédent, les effets se trouvent amplifiés.

Il est clair, d'après ce qui précède, que la comparaison des deux manomètres A et B renseignera tout à la fois sur la cause et l'effet, en ce qui concerne le mouvement de l'air dans la mine. Si les résistances viennent à diminuer, la vitesse *v* augmente, ainsi par suite que *bb'*, tandis que *aa'* ne change pas ou ne diminue que fort peu, la pression motrice ayant seulement besoin d'une valeur un peu plus faible pour forcer l'aérage à travers une mine devenue plus large. L'inverse aura lieu si celle-ci devient plus étroite. D'autre part, si on surmène le ventilateur, *aa'* augmentera, tandis que *bb'* variera peu, dans les premiers moments du moins. L'inverse aura lieu si on vient à ralentir la machine. L'observation des oscillations des deux colonnes liquides, qu'on a eu soin de placer l'une à côté de l'autre sur une même planchette, donne ainsi d'un seul coup d'œil les indications en vue desquelles cet appareil a été établi.

§ VIII. — AÉRAGE NATUREL.

50. — *Influences spontanées.* — Nous avons maintenant à indiquer les moyens de réaliser le programme qui vient

d'être tracé pour la ventilation, et pour cela à envisager deux ordres distincts de question : en premier lieu l'agent de mise en mouvement de l'air, et ultérieurement la disposition des travaux qui assurera au courant le mode voulu de circulation.

Le premier système de ventilation qui se présente, est ce qu'on appelle l'aérage naturel, dans lequel n'intervient aucun moteur artificiel, mais seulement l'influence des circonstances atmosphériques. Il présente évidemment sur tous les autres l'avantage de l'économie ; mais nous avons déjà eu occasion de dire que cette considération, malgré son importance très réelle, doit s'effacer en pareille matière devant celle de la sécurité. C'est donc à ce point de vue surtout qu'il nous faut envisager la question.

Ce système se réduit à utiliser les différences de niveau que présentent les divers orifices au jour pour obtenir un défaut d'équilibre entre les colonnes d'air qui se correspondent de l'un à l'autre de ces niveaux dans l'atmosphère extérieure et à l'intérieur de la mine. Les températures seront en effet en général différentes, et par suite aussi les densités. Du reste cette température ne change pas instantanément au moment de l'entrée de l'air dans les travaux, mais seulement d'une manière progressive. Il y a donc lieu d'ajouter à l'effet des colonnes dont il vient d'être question, situées entre les niveaux des deux orifices de la mine, une certaine influence de la part de celles qui s'étendent au-dessous de l'orifice inférieur jusqu'au point le plus profond des travaux.

Il est toutefois essentiel de remarquer que la température extérieure varie dans de larges proportions, notamment de l'été à l'hiver, tandis que celle de la mine reste enfermée entre des limites plus étroites. Il y aura donc interversion des rôles d'une saison à l'autre entre la colonne lourde et la colonne légère, et par suite renversement du courant. Rien n'empêche même que ce phénomène se

présente plusieurs fois dans l'année. S'il devait être instantané, il aurait peu d'inconvénients. Mais il est clair au contraire que l'on passera par un ralentissement, une stagnation et une mise en train, lente au début. En un mot la mine se trouvera pendant quelque temps sans aérage, et cela justement lors du changement d'état de l'atmosphère, propre, comme nous l'avons vu, à surexciter les causes d'infection de l'air des travaux. C'est donc au moment où l'on aurait besoin d'agir avec un redoublement d'activité, que l'on se trouve absolument désarmé (1).

Sous ce rapport, et bien que l'opinion contraire ait trouvé des défenseurs, on doit admettre que l'aérage artificiel présente des chances de régularité et d'efficacité plus grande que la ventilation naturelle. Si une avarie survient dans les appareils, on a toujours le temps de faire sortir les hommes, et on peut alors porter remède à loisir. En outre, en l'absence de dérangement, on a en main le moyen d'activer la marche du courant, quand les circonstances le réclament. La statistique des accidents a été favorable à cette manière de voir, là où les moyens artificiels ont été substitués à l'aérage naturel, d'après l'initiative spontanée des exploitants ou sous la pression administrative (2). M. Aguillon insiste sur la diminution du nombre des accidents qui a suivi l'introduction des ventilateurs mécaniques dans le bassin du Gard (3).

Il est clair du reste que les influences atmosphériques qui sont l'agent essentiel de l'aérage naturel sont inévitables par elles-mêmes, et, par suite, que dans la ventila-

(1) A Ahun l'on voit parfois, dans les jours d'orage, le courant s'arrêter, car on ne le force avec le ventilateur qu'en fermant le puits d'extraction dans les intervalles du service. Alors les hommes sont pris d'une sorte de défaillance, et la production s'en ressent de la manière la plus évidente.

(2) Instruction administrative de 1872.

(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VI, page 840.

tion artificielle elles pèseront souvent sur les moyens employés, ou leur viendront en aide dans une mesure importante, à laquelle il sera nécessaire d'avoir égard suivant les saisons et l'état de l'atmosphère.

Le renversement du courant dans la ventilation naturelle a encore d'autres inconvénients. Il arrive parfois, par exemple, que les parties supérieures renferment des feux qui donnent beaucoup d'acide carbonique. En hiver l'aérage sera montant et y refoulera ce gaz. Mais en été il le rabattra, en ayant pour cela l'aide de sa densité, et ce produit infectera les étages inférieurs.

L'hygromètre a, comme le baromètre et le thermomètre, sa part d'influence dans cette matière. Il peut en effet arriver que de l'air très sec pénétrant dans une mine humide et s'y chargeant de vapeur d'eau, se refroidisse au lieu de s'échauffer, et par suite détermine le mouvement inverse de celui qui eût pris naissance sans cette circonstance (1).

51. — *Cheminées d'aérage.* — On a, dans certains cas, cherché à activer l'aérage naturel, en augmentant sa cause essentielle qui est la différence de niveau des débouchés au jour. On surmonte pour cela le puits le plus élevé d'une cheminée d'aérage qui en reporte plus haut l'orifice. Quelques-unes dépassent 50 mètres (2), quoiqu'elles soient ordinairement beaucoup moindres. Ce moyen a évidemment l'inconvénient de condamner complètement le puits à ne servir que de voie d'air, sans qu'il soit possible d'y installer aucun service.

---

(1) GALLOWAY : *Connexion between Colliery Explosions and Weather.*

(2) PONSON, tome II, page 73.

§ IX. — FOYERS D'AÉRAGE.

52. — *Toque-feux.* — L'aérage naturel étant fondé sur une différence spontanée de température, on devait être amené à la provoquer artificiellement à l'aide d'un foyer (1). Cette combinaison est d'autant plus indiquée que non seulement on a le combustible sous la main, mais que certaines sortes, difficilement acceptées par le commerce, pourront être utilisées de cette manière, en même temps que sur les grilles des générateurs.

L'emploi des anciens toque-feux était irrationnel en ce qu'ils se trouvent placés trop haut, en raison de la nécessité de les sortir au jour à l'aide de leurs chaînes de suspension, quand il faut les recharger de combustible. La vraie place du foyer est au fond du puits de sortie. En le mettant plus avant dans les travaux, on use inutilement son influence dans des résistances à vaincre horizontalement, et on gêne la circulation dans cette partie de la mine. En le plaçant au contraire plus haut dans le puits, on perdrait une partie de la hauteur du tirage. La théorie élémentaire montre en effet que la puissance de ventilation d'un foyer peut être considérée, dans les limites ordinaires, comme proportionnelle à la racine de la profondeur et de l'échauffement. Elle indique cependant, quand on l'approfondit davantage, une loi différente et un maximum d'effet qu'on ne saurait dépasser en forçant la température. M. Murgue a déterminé cette limite par le calcul (2). M. Devillez, dans son traité de ventilation des mines, va même jusqu'à dire que non seulement on ne peut dépasser ce point, en quelque sorte asymptotique, mais qu'au delà

(1) Leur usage est très ancien et constaté déjà dans le XVIIe siècle (B. Fisen : *Sancta regia sive historiarum*, etc.)

(2) Murgue : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 795.

l'effet irait même en décroissant, à cause de l'exagération que prendraient alors les résistances passives, fonctions de la vitesse, laquelle croit avec la dilatation. A la vérité, on reste en général fort éloigné de cette limite; pourtant elle s'est parfois présentée malgré tous les efforts que l'on faisait pour la franchir, par exemple à Dowlàir (Angleterre). Dans tous les cas il importe que le feu soit toujours clair et que tout le charbon soit transformé en acide carbonique, afin d'en tirer tout l'effet thermique dont il est susceptible.

52. — *Foyers d'aérage.* — Les foyers d'aérage ont l'avantage d'être moins sujets aux dérangements que les appareils mécaniques. De plus, si une avarie vient à se produire, la chaleur emmagasinée dans les parois du foyer et du puits suffira à entretenir pendant longtemps encore un aérage efficace. Enfin il n'oblige pas d'une manière absolue à fermer un puits, comme cela est nécessaire avec les ventilateurs, quoiqu'il y apporte certainement une très grande gêne. Ce moyen fort répandu, par exemple en Westphalie et en Angleterre, se rencontre également en France. Quoique en voie de diminution devant les ventilateurs mécaniques, il n'est certainement pas appelé à disparaître. On peut même dire que ce sont encore les foyers d'aérage qui sont employés pour produire les ventilations les plus exagérées. Cependant, je tiens de M. Guibal lui-même qu'il considère son ventilateur comme pouvant être poussé jusqu'au diamètre de 15 mètres à la pression de 10 ou 12 centimètres et à un débit de 80 mètres cubes par seconde, à la vitesse de 40 tours. Il y a peu de mines qui aient des exigences plus élevées. Il existerait même, paraît-il, en Angleterre, d'après certains renseignements, un ventilateur dont on ne désigne pas du reste le type et qui débiterait 100 mètres cubes par seconde (1). On considère dans le

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VI, page 796.

bassin de la Ruhr les foyers comme plus économiques que les ventilateurs (1).

Ils ont cependant certains inconvénients. D'abord leur effet n'est pas certain et géométrique comme celui de certains ventilateurs. Il dépend de l'hygrométricité de l'air dans une large mesure, l'influence de la vapeur d'eau tendant à abaisser la température. Il est surtout entravé par l'humidité des puits d'aérage souvent impossible à éviter. Leur emplacement au fond de la mine rend leur accès difficile quand il s'agit de rétablir le courant après un sinistre, tandis que les ventilateurs placés au jour sont plus accessibles. Les foyers sont également moins bien en main dans le service normal pour donner un coup de collier destiné à agir aussi rapidement que possible sur la ventilation. En outre, malgré la précaution de les établir dans le rocher et non dans la houille, d'écarter tout boisage et de les environner de maçonneries et même de doubles muraillements avec des gaînes d'air, on peut toujours redouter des chances d'incendie. Un semblable accident a eu lieu, en 1827 à la fosse Saint-Hyacinthe d'Aniche, par l'inflammation d'un boisage situé à proximité. D'ailleurs les foyers d'aérage ne conviennent que pour des mines larges, à faible pression, et des puits profonds. On ne les rencontre pas en Belgique où les mines sont en général étroites.

Mais par dessus tout, il faut signaler la contradiction manifeste de ce moyen d'action avec la présence du grisou. On doit le considérer, malgré toutes les précautions possibles, comme imprudent dans une mine franchement grisouteuse. Dans tous les cas, une règle absolue consiste alors à n'alimenter le feu qu'avec de l'air pur amené directement du dehors comme dans les beurtias d'Anzin et les dumb-furnaces d'Angleterre, et à établir des systèmes de fermeture qui assurent d'une manière complète contre

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome IV, page 276.

toute possibilité de l'accès de l'air de la mine sur les grilles du foyer. En outre le rampant doit être assez allongé pour qu'en aucun cas les flammes ne soient capables d'atteindre le puits dans lequel s'engage l'air vicié et qu'il n'y arrive que des gaz chauds mais éteints. Il faut en même temps donner à ce rampant une section suffisante pour y modérer la vitesse qui tend à allonger la flamme.

On a souvent mis en avant la crainte que, les cloisons protectrices venant à être emportées dans un coup de grisou, l'air vicié puisse ensuite arriver librement sur le foyer et y déterminer une série de nouvelles explosions. Cette possibilité ne saurait en effet être niée; cependant il convient de ne pas s'en exagérer l'importance. Il est clair en effet qu'un coup de feu capable de détruire les constructions n'aura pas manqué de disperser les charbons incandescents, qui s'éteindront alors presque immédiatement.

54. — *Moyens divers*. — On a parfois employé dans le bassin de la Ruhr, pour des travaux préparatoires, les cheminées extérieures des chaudières à vapeur pour créer un tirage dans la mine (1); ce moyen est peu économique.

On a essayé à Seraing, vers 1830, à Oberkirchen (Schaumburg-Lippe) et à la mine Laura (près Minden, Westphalie), un calorifère destiné à empêcher tout contact entre le système de la combustion et celui de la circulation dans la mine. Mais l'expérience ne paraît pas avoir santionné ces tentatives.

§ X. — VENTILATEURS.

55. — *Installation*. — Les ventilateurs de mines sont excessivement nombreux. On peut citer en effet, outre les

---

(1) CHANSSELLE et DE LORIOL : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 785.

trompes, la vis hydropneumatique et le système Blanchet : les ventilateurs Bell, Bourdon, Brunton, Cadiat, de la Colonge, Combes, Cooke, De Coster, Duvergier, Fabry, Favet, Galet, Guérin, Guibal, Harzé, Kraft, Lambert, Lemielle, Lesoinne, Letoret, Lloyd, Mahaut, Motte, Nixon, Pasquet, Perrigault, Pengeot, Rammel, Revollier, Rittinger, Roots, Schiele, Staib, Struve, Waddle, etc.; les uns à vapeur, les autres à bras; les uns à volume constant, les autres à force centrifuge; un grand nombre aujourd'hui oubliés. Leur description et leur théorie ne sauraient trouver place ici (1). Mais si je ne puis entrer dans de tels détails, il est nécessaire du moins d'indiquer les généralités qui concernent ces appareils et qui se trouvent en rapport immédiat avec la question de l'élimination du grisou.

Que le ventilateur soit aspirant ou foulant, ou, suivant l'expression des Anglais, positif ou négatif, on l'installe au débouché d'un puits ou d'une galerie, que l'on ferme de manière que la communication de l'intérieur avec l'extérieur ne puisse avoir lieu qu'à travers le mécanisme. Il sera mieux cependant de l'établir de préférence *à côté* de l'orifice, à l'extrémité d'une petite dérivation, afin que la violence d'un coup de feu s'exerçant surtout dans le sens direct, enlève la fermeture, que l'on aura faite légère, et épargne autant que possible la machine.

On emploie aussi des fermetures mobiles : d'abord l'appareil Briard, lorsque le puits du ventilateur doit en même temps servir à l'extraction; en second lieu, la fermeture hydraulique. L'avantage de cette dernière sur la cloison fixe consiste en ce que le moindre coup de grisou l'enlèvera sans produire une dislocation générale des appareils. On a poussé

(1) On ne saurait, sous ce rapport, accorder trop d'attention à l'excellente étude que vient de publier M. Murgue (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IX) qui forme la troisième partie de son *Essai sur les machines d'aérage*, dont les deux premières ont été remarquées à juste titre.

cette mobilité, dans le système Devaux, jusqu'à ce point que la cloche, équilibrée par un poids, n'est maintenue sur son siège que par la dépression (en supposant l'aspiration dans le puits). Si le ventilateur s'arrête, cette dépression venant à disparaître, la cloche s'enlève, débouche le puits et permet à l'air de continuer son mouvement en raison de la vitesse acquise. Parfois la clôture est formée simplement de deux volets à charnière. Au puits Jabin, ils ont été ouverts par l'explosion et sont retombés en place sans que le ventilateur ait été arrêté. A l'aide de ces fermetures on réussit parfois à maintenir dans la mine, pendant un temps plus ou moins long, une ventilation qui persiste par le seul fait qu'elle a commencé et en raison des changements de température que subit le courant en passant de l'extérieur dans les travaux. Cependant cet artifice serait sans valeur avec un appareil Guibal, qui n'interrompt pas géométriquement la communication de l'intérieur avec l'extérieur, comme les ventilateurs *disséquants*.

En ce qui concerne cette persistance du courant, je dois dire toutefois que l'accord n'est pas établi dans les opinions. Certains auteurs Anglais admettent que l'influence du ventilateur se fait encore sentir six heures après son arrêt (1). A Cessous (Gard), on a observé une durée de deux ou trois heures. M. Murgue, au contraire, et M. Aguillon, si compétents dans ces matières, pensent avec raison que l'action directe doit cesser de suite (2). Le calcul montre à cet égard que l'arrêt, théoriquement asymptotique, c'est-à-dire exigeant un temps infini pour être complet, tombe pratiquement à des vitesses inappréciables au bout d'une minute (3). Seulement, il est possible que dans ce moment

(1) *Proceedings of the South Wales Institute of Engineers*, 1866-67, tome V.

(2) *Compte rendu mensuel*, etc., novembre 1873, page 19.

(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 755.

critique l'état de choses se ressente des influences étrangères au ventilateur, suivant, par exemple, que l'aérage naturel qui tendrait à se produire *à priori* agit, pour la saison dans laquelle on se trouve, en même sens ou en antagonisme avec le courant préétabli ; ou encore, d'après un régime *artificiel* de température né de l'aérage lui-même dans les parois, et pouvant par réciprocité agir à son tour sur les masses gazeuses jusqu'à ce qu'il soit revenu à son état thermique *naturel*. M. Soulary, dans cet ordre d'idées, cite un cas remarquable de l'influence de l'échauffement que finit par prendre le puits de sortie, tandis que le puits d'entrée reste froid. On a lutté pendant douze heures, à Sainte-Foy-l'Argentière, avant de réussir à renverser le courant, en refroidissant l'ancien puits de sortie avec des injections d'eau, et réchauffant le puits d'entrée avec un foyer. Il est clair, en effet, que la différence de température ainsi créée entre les deux puits par un long exercice constitue en quelque sorte un diminutif de foyer d'aérage. Au contraire, M. Chansselle a eu plusieurs fois occasion de déterminer, avec un ventilateur Guibal et un système de portes, le renversement immédiat du courant sans aucune phase de lutte appréciable contre de prétendues influences persistantes. Mais en revanche au puits Monterrad, en laissant le courant continuer sans le ventilateur, avec 4 mètres seulement de différence de niveau entre les orifices, la pression, tombée de 45 à 15 millimètres d'eau, s'est maintenue à ce chiffre, sans variation appréciable, pendant vingt-quatre heures.

Ce point présente du reste une très grande importance, car, en cas d'arrêt, il est très essentiel d'avoir du temps devant soi pour faire sortir les hommes et les mettre en sûreté par tous les moyens possibles, ce qui est le premier devoir des maîtres-mineurs, toutes affaires cessantes.

56 *Aspiration et refoulement.* — Il est nécessaire d'en-

visager ici les avantages comparatifs des ventilateurs aspirants ou soufflants au point de vue des secours qu'ils peuvent offrir contre le grisou. Au point de vue théorique, le refoulement de l'air exige moins de travail que l'aspiration. Mais la différence est minime et, fût-elle plus importante, nous avons dit que la question de sécurité prime ici celle d'économie.

Les appareils soufflants ont aussi l'avantage de tenir en respect les soufflards et les fumées des incendies, tandis que l'aspiration aide ces produits délétères à envahir les travaux (1). C'est ainsi que dans la ventilation des édifices on doit éviter d'appeler par l'aspiration l'air de toutes les parties malsaines adjacentes. Cependant les conditions ne sont pas ici tout à fait les mêmes. D'abord la dépression est très faible en comparaison de la tension des soufflards et surtout du grisou dans le massif. De plus, il est facile de retourner l'argument en sens inverse. En effet, tant que l'appareil fonctionne, on est armé contre le grisou. Au contraire, si une avarie arrête le ventilateur aspirant, la pression, en se rétablissant, augmente et tend à contrebattre les soufflards. S'il s'agit inversement d'un appareil foulant, elle diminue et surexcite la sortie du gaz. C'est donc au moment même où l'on se trouve désarmé que la situation de la mine tendrait à s'aggraver.

Lorsque le baromètre baisse, nous avons vu que, suivant une opinion très accréditée, on ne manque pas d'activer l'aérage, en vue de la tendance du mauvais air à sortir des vieux travaux. S'il s'agit d'un ventilateur soufflant, ce sera en augmentant la pression et réparant par là en partie

(1) AD. BOISSE : *Recherches sur les explosions dans les mines de houille et sur les moyens de les prévenir*. Travail couronné par l'Académie royale de Bruxelles, et publié par les soins du gouvernement belge et dans un recueil de mémoires et rapports sur les moyens de soustraire les mines de houille aux chances d'explosion, 1840, chez Hayez.

sa diminution spontanée. Au contraire, avec un appareil aspirant, ce sera en l'exagérant encore.

Un appareil soufflant se trouve naturellement installé sur le puits d'entrée et un ventilateur aspirant sur celui de sortie. Ce dernier se trouve donc plus rapproché de la partie souillée du courant d'air, et par suite plus exposé aux dangers d'explosion. Or, la conservation de l'appareil d'aérage est d'une importance vitale en cas de sauvetage, puisqu'on ne peut presque rien faire sans rétablir préalablement la ventilation.

Cet ensemble de motifs semblerait donc militer en faveur des appareils soufflants, et cependant on rencontre par le fait beaucoup plus de ventilateurs aspirants. C'est en raison d'un dernier argument. Nous avons dit que la circulation doit être essentiellement ascensionnelle. Il faut donc envoyer l'air au pied du puits le plus creux. D'autre part, un principe également essentiel veut que le roulage se fasse partout en descendant, de manière que la machine d'extraction soit seule chargée de vaincre la pesanteur. C'est donc par le puits d'extraction qu'il faut faire entrer le courant, et par conséquent c'est lui qu'il faudrait boucher pour employer un ventilateur soufflant, tandis que ce puits restera libre avec un appareil aspirant qui sera installé sur l'orifice de sortie. Or, bien qu'il ne soit pas impossible de concilier les deux choses, puisque la fermeture Briard a été imaginée spécialement dans ce but, on comprend que la gêne qui en résulte pour une extraction active fasse la plupart du temps pencher la balance en faveur du ventilateur aspirant.

Il faut citer enfin à l'actif de ce dernier l'avantage que l'on peut quelquefois recueillir de la persistance du courant lors d'une avarie des appareils, au moyen de la fermeture équilibrée.

La question n'est pas du reste tout à fait la même, au point de vue de cette discussion, pour les ventilateurs à bras que pour les grands appareils de mines. Pour les

premiers, M. Murgue insiste sur la préférence à donner aux appareils soufflants sur les ventilateurs aspirants. La force vive de l'air est, en effet, mieux utilisée et sert à pourchasser le grisou dans les recoins opposés au débouché du canar. Avec l'aspiration, au contraire, on ne peut réussir à déloger le gaz du fond des remontées.

Quelque choix que l'on adopte entre les deux systèmes, on doit attacher de l'importance à la propriété qu'ont certains ventilateurs d'être directement réversibles. Pour les autres, à la vérité, on pourra également réaliser au besoin le renversement du courant, en établissant dans ce but un système convenable de couloirs et de portes d'aérage. Il est bon en effet, en cas d'incendie, afin de pouvoir cerner les feux de plus près, de ne pas être entravé par les fumées et les gaz toxiques. Il faut pour cela avoir le vent au dos, bien qu'on l'abaisse à ce qui est strictement nécessaire pour les hommes, afin de ne pas surexciter la combustion. Mais comme on doit successivement approcher du foyer par toutes les directions, il pourra être utile d'être pour cela maître du sens du courant. Nous avons vu également qu'on peut avoir besoin de renverser le courant pour dégeler un puits.

Les ventilateurs de mines restent toujours très inférieurs à ceux de la métallurgie sous le rapport de la dépression à créer et, du reste, cette tension n'est ici nullement nécessaire. Si l'on avait besoin de l'augmenter, on pourrait recourir à une idée mise en avant par M. Harzé (1), qui consiste à additionner les pressions de plusieurs ventilateurs en faisant puiser chacun d'eux dans le produit du fonctionnement du précédent.

27. — Quant à la distinction des ventilateurs en deux

---

(1) *Revue universelle des mines et des usines*, 2e série, tome III, page 754. — Devillez : *Traité sur l'aérage*. — Demanet : *Traité de l'exploitation des mines de houille*, tome II, page 200.

grandes classes qui naît du mécanisme même : appareils à volume constant et ventilateurs à force centrifuge, je me bornerai à rappeler le principe énoncé dans les conclusions du rapport de M. Murgue, au nom de la commission d'études du Gard (1). Pour les mines larges, les appareils à force centrifuge donnent le plus grand volume d'air et le meilleur rendement; pour les mines étroites, ce sont, au contraire, les systèmes à volume constant. Il pourra donc parfois y avoir là une indication pour l'exploitant qui, placé dans des conditions moyennes et par suite laissé dans l'indécision, aura lieu de présumer que l'avenir de ses travaux lui semble appelé à diminuer ou à augmenter les résistances. On voit aussi par là qu'un obstacle accidentel, tel qu'un éboulement, affectera beaucoup moins le régime général avec un ventilateur à volume constant. A la vérité ces derniers, d'un mécanisme plus compliqué que le Guibal, sont plus exposés, par la fatigue qui naît d'un long usage, à la production des fuites ou des rentrées d'air. Du reste, il ne faut pas oublier que, si le calcul du volume mis en mouvement par les ventilateurs disséquants est à peu près immédiat, pour les appareils à force centrifuge il dépend de la vitesse et de la résistance à vaincre dans la mine qui règle la pression au débouché.

Le ventilateur ne doit être arrêté que pendant un jour de chômage de l'exploitation, jamais dans un court intervalle, tel que celui du repas des hommes. Avant tout arrêt, des mesures efficaces seront prises pour s'assurer qu'il n'y a plus personne dans la mine. Chaque arrêt accidentel doit être porté dans le plus bref délai possible à la connaissance des ingénieurs ou maîtres-mineurs pour qu'ils puissent mettre le personnel en sûreté. On doit toujours, en outre, remettre en marche plusieurs heures avant la rentrée du poste.

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, pages 481, 728.

§ XI. — MOYENS DIVERS DE VENTILATION.

58. — En dehors de l'aérage naturel, des foyers et des ventilateurs, qui viennent de nous occuper successivement, je dois encore mentionner ici une série de procédés accessoires, dont quelques-uns sont susceptibles de rendre des services utiles et dont les autres, quoique condamnés par les bons esprits, sont incessamment remis en avant par des inventeurs mal inspirés. Parmi ces procédés, un certain nombre continuent à prendre pour objectif la ventilation; ce sont ceux que j'envisage dans ce paragraphe, en remettant au suivant les moyens de purification autres que l'aérage. La première série comprend les huit systèmes suivants:

1. — Pluie artificielle.
2. — Manches à vent.
3. — Air comprimé.
4. — Jets d'air.
5. — Jets de vapeur.
6. — Chauffage à vapeur.
7. — Captage au ventilateur anti-grisou.
8. — Chasses de grisou.

Pluie artificielle. — La chute de l'eau en forme de pluie dans les puits constitue un moyen très efficace de ventilation. On a souvent remarqué que les suintements à la circonconférence d'un puits y déterminent un aérage naturel entrant par cette circonférence en forme de gaîne, et revenant du fond en colonne centrale.

C'était autrefois un moyen fondamental de ventilation pour les travaux de faible développement et munis, bien entendu, d'une galerie d'écoulement. Je l'ai rencontré il y a peu d'années dans certaines mines du centre de la France, où l'on pourrait sans doute le voir encore. Il est bon que cette pluie présente le plus possible de régularité et ne soit pas formée de lames d'eau discontinues qui seraient ca-

pables de faire sortir le mauvais air de ses repaires pour le lancer dans la circulation.

On doit d'ailleurs aujourd'hui restreindre le rôle efficace de ce procédé au cas d'un sauvetage. Il est très utile dans ce but de préparer un bassin de retenue, de telle sorte que l'on n'ait qu'un robinet à ouvrir, lorsque tous les appareils sont mis hors de service par un coup de feu, pour déterminer une pluie artificielle qui entraînera dans les travaux une masse d'air bienfaisant.

52. — *Manches à vent.* — On a employé également autrefois des manches à vent analogues à celles qui servent à aérer les soutes des navires. On voit dans le vieux *Traité d'Agricola* (1), des gravures sur bois représentant la bouche d'un puits avec quatre plans verticaux en planches disposés au-dessus du sol suivant deux diamètres rectangulaires. Cet appareil recevait le vent, de quelque côté qu'il vînt à souffler, et en réfléchissait une partie dans le puits. On y voit également (2) une sorte de tonneau monté sur un axe creux et muni d'une girouette, qui l'oriente de manière à présenter au vent un orifice où celui-ci s'engouffre pour descendre dans le puits.

On trouve encore dans le *Traité d'exploitation des mines de houille* de Ponson (3), un appareil employé dans les mines du centre du Hainaut, formé de quatre pavillons ouverts aux quatre points cardinaux et engouffrant le vent dans un conduit vertical.

Ces moyens sont encore de temps en temps remis en avant comme économiques. Ils le sont évidemment, en effet, mais en même temps tout à fait insuffisants si on les emploie seuls, dès qu'une exploitation prend le moindre

(1) AGRICOLA : *De re metallica*, 1621, libro VII°, page 159.
(2) *Ibidem*, page 161.
(3) 1re édition, 1853, tome II, page 76, Pl. XVIII, *fig.* 3.

développement en surface et en profondeur. En outre, il est à peine nécessaire de faire remarquer que pendant les calmes on manquerait de tout moyen d'aérer la mine. Or cet état de l'atmosphère coïncide souvent avec les moments où la ventilation naturelle résultant d'influences statiques fait elle-même défaut.

[illegible]. — *Air comprimé.* — M. Bazin et d'autres inventeurs ont proposé, depuis que les grandes exploitations ont commencé à se munir de compresseurs pour la perforation mécanique, d'envoyer par une tuyauterie l'air comprimé pour se détendre dans la mine et chasser au dehors l'atmosphère viciée.

Il y aurait en effet à cela l'avantage de rafraîchir les travaux, peut-être même avec excès, à cause du grand refroidissement qui accompagne la détente. Mais un tel système ne peut soutenir l'examen. En effet, ou bien on enverrait aux fronts de taille, à la pression du compresseur, une quantité d'air égale à celle de la ventilation ordinaire ; et alors cette pression serait inutile, anti-économique et gênante. Ou bien l'on n'enverrait qu'une masse beaucoup plus restreinte. Mais alors elle ne remplirait plus le but qui est de noyer dans un grand volume d'air les afflux de grisou pour maintenir le mélange très loin de la proportion explosive (1).

Ce principe étant mis de côté comme solution fondamentale, il convient de dire en même temps qu'il peut rendre quelques services accessoires. C'est ainsi que dans la perforation mécanique, la quantité d'air injectée au front de taille des percements, tend à assainir et à rafraîchir l'atmosphère de l'avancement, quoique dans une mesure peu importante. M. Burat indique le secours que l'on peut tirer de ce moyen pour purifier le chantier de

(1) Avis adopté par la Commission dans sa séance du 28 mai 1879.

toute trace de grisou au moment de tirer les coups de mines, en ouvrant les robinets et donnant une chasse d'air comprimé. Mais une observation de M. Chansselle ôte beaucoup de valeur à cette vue, si rationnelle d'ailleurs. Cet ingénieur a remarqué, dans une galerie remplie de la fumée des pétards, que les jets d'air qui se détachaient en noir sur la fumée blanche y faisaient en quelque sorte un trou, pour aller s'écraser sur le front de taille et retomber en nappe, en raison de leur température refroidie par la détente, sur la sole où ils coulaient comme une rivière, avec peu d'expansion capable de balayer l'atmosphère irrespi-pirable.

61. *Jets d'air.* — On a mis en avant un mode d'emploi plus efficace de l'air comprimé, dans lequel pourtant il ne faut toujours voir qu'une solution partielle, telle que l'aérage d'un cul-de-sac par exemple.

M. Piarron de Mondésir avait présenté à l'exposition de 1867 un appareil de ventilation qui était formé d'un jet d'air comprimé, lancé dans l'orifice d'un tuyau ouvert à ses deux extrémités. Un entraînement considérable d'air ambiant se produit dans ces conditions, et le tuyau conduit au front de taille, non pas seulement comme tout à l'heure le fluide fourni par le compresseur, mais une quantité bien plus considérable (1). Ce phénomène d'entraînement est d'ailleurs excessivement complexe. Il a été étudié avec le plus grand soin par M. Félix de Romilly, dans une intéressante série d'expériences (2).

MM. Kœrting de Hanovre ont rendu ce procédé pratique en employant un mécanisme analogue à celui de l'injecteur Giffard. Leur appareil a été employé avec succès pour aérer

(1) Lemaître : *Mémoires des ingénieurs civils*, 15 mars 1867.

(2) Rapport de M. Haton de la Goupillière sur les expériences de M. Félix de Romilly (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 3e série, tome IV, page 24).

vivement les avancements de la perforation mécanique, et en chasser les fumées du tirage à la dynamite, en évitant aux ouvriers les maux de tête occasionnés par les vapeurs nitreuses. Un Kœrting établi à Nœux entraînait en nombre rond, 200 litres pour 1 d'air comprimé à 3 atmosphères. Le canal avait 130 mètres de longueur jusqu'au front de taille, et le courant parcourait ensuite 570 mètres avant d'être rejeté dans le grand retour d'air (1). Cet appareil a été aussi employé dans les mines d'Anzin (2).

69. *Jets de vapeur.*— Le Kœrting a été également modifié pour le cas où l'on n'a pas de compresseur d'air, mais seulement des générateurs de vapeur. On injecte alors de la vapeur d'eau. Il en occasionne une grande consommation, mais son effet est considérable sous cette forme (3), et a rendu des services à Anzin, à Noeux, à Bezenet, où M. Baure n'a eu qu'à se louer de son emploi (4).

Mais déjà, bien antérieurement à cette invention, on avait employé les jets directs de vapeur au pied des puits pour y déterminer le mouvement de l'air, à peu près comme dans les cheminées de locomotives. Buddle a proposé ce principe en 1807. On l'a appliqué dans le Hainaut et dans le pays de Liège. Seulement ce qui est tout bénéfice dans la locomotive, où l'on emploie l'échappement de la vapeur qui a déjà fonctionné et dont il ne s'agit plus que de se débarrasser, est loin d'être aussi recommandable lorsqu'il faut se procurer tout exprès cette vapeur, et il serait alors facile de trouver un mode d'emploi plus avantageux de ce

---

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., janvier 1876, page 34; et février 1877, page 109.

(2) *Ibidem.*

(3) *Revue universelle*, de Cuyper, 1er volume de 1777, page 109. —*Compte rendu mensuel*, mai 1876, page 34; février 1877, page 24; avril 1878, page 73.

(4) *Compte rendu mensuel*, etc., décembre 1875, page 13.

fluide, car son effet utile, dans ces conditions, est très faible. Des expériences directes ont été faites à ce sujet par MM. Mehu et Glépin, et cette question a été traitée avec détail dans le premier volume des annales du *Mining Institute of Newcastle*. Lorsqu'on dispose de vapeur perdue, provenant de machines intérieures, on peut obtenir des applications plus utiles de ce principe. C'est ainsi qu'à Rochebelle, M. Rivière a employé pour l'aérage la vapeur d'un petit moteur destiné à actionner une pompe (1). Ces conditions se sont également trouvées réalisées dans le grand accident de Blantyre, et ont permis d'obtenir un aérage très suffisant pendant le sauvetage.

On ne peut refuser à ce système un avantage précieux en cas de sauvetage. Nous avons vu en effet, que la plupart du temps le ventilateur est aspirant, et par conséquent installé sur le puits de sortie. Son générateur se trouve donc à portée de ce puits, et il est moins exposé que l'appareil lui-même à être détruit par un coup de grisou. Si donc on a soin d'établir à l'avance un tuyau fermé par un robinet, et conduisant de la chaudière à des tubulures placées au pied du puits, on ouvrira cette valve, quand le ventilateur sera mis hors de service et l'aérage à vapeur commencera à fonctionner dans le puits *suivant le même sens* qu'auparavant. M. Aguillon a émis la crainte que le coup de feu qui sera capable de détruire un ventilateur n'ait en même temps le pouvoir de désorganiser cette colonne de tuyaux. Mais on peut espérer cependant donner, au moyen d'une installation soignée, peu de prise à la force destructive.

62. — *Chauffage à vapeur.* — La vapeur peut encore être employée sous une autre forme, et toujours sans machine, à la ventilation. C'est en la faisant circuler dans un tuyau

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., 1er avril 1878, page 18.

non feutré qui descend au fond des puits. Il se refroidit en échauffant l'air et détermine ainsi le tirage.

Ce principe proposé, en 1836, par M. de Vaux, ne fournit pas un emploi économique de la chaleur. On peut en effet assimiler cette conduite de vapeur à une infinité de toque-feux infiniment petits échelonnés sur toute la hauteur. Or nous avons reconnu que cette situation donnée à l'appareil de chauffage perdait gratuitement une partie de son effet. Ce système a cependant été appliqué dans une mine grisouteuse de Seraing, où il a donné, dit-on, de bons résultats.

Il convient toutefois de dire que, dans le cas où des conduites se trouvent établies en vue d'un but défini quelconque, on peut trouver dans la chaleur perdue par ces tuyaux un secours utile pour l'aérage. C'est ainsi que l'établissement d'une pompe Tangye au fond de la mine de Saint-Genyès (Graissessac-Ouest), avec sa conduite de vapeur, y a notablement activé la ventilation.

61. — *Ventilateur anti-grisou.* — M. Favet a formulé un système dans lequel il aère un cul-de-sac au moyen d'un ventilateur à bras remplaçant les galandages que l'on emploie ordinairement pour plus de sûreté en les faisant parcourir par le courant général. En même temps il ferme l'entrée de l'ouvrage par une porte à guichet pour empêcher que le grisou ne puisse sortir. Il capte ce gaz près du toit, à l'avancement, dans le tuyau de son ventilateur aspirant, qui est placé derrière la porte et en dehors. Un second tuyau d'aspiration puise l'air frais à la sole de la galerie principale. C'est donc dans l'intérieur même de l'appareil que s'opère le mélange des deux fluides qui sont ensuite rejetés dans la galerie, à l'état inoffensif suivant M. Favet. La porte à guichet laisse passer en outre un filet d'air qui, sollicité par l'aspiration exercée au front de taille, balaye tout le cul-de-sac en conduisant les dégage-

ments des parois jusqu'à la bouche d'aspiration qui se trouve à l'avancement.

On ne peut s'abstenir de faire remarquer que la pensée d'ériger en système l'emploi des ventilateurs à bras, dans lesquels les exploitants ne voient avec raison qu'un expédient assez précaire, a le défaut de faire dépendre, à un degré excessif, la sécurité des hommes de l'activité de simples manœuvres, plus ou moins consciencieux, difficiles à surveiller d'une manière constante et dont une négligence momentanée peut préparer une catastrophe. De plus, le travail des hommes dans le fond étant suspendu la nuit, lorsqu'on n'a qu'un poste par jour, et, dans tous les cas, pendant les dimanches, fêtes et chômages, le grisou s'accumulera durant ces intervalles, et le commencement du fonctionnement du ventilateur à bras déversera dans le courant principal du grand ventilateur mécanique des mélanges beaucoup plus chargés de gaz qu'à l'ordinaire, et qui pourront atteindre la proportion explosible.

Un rapport développé a été présenté à la Commission par l'un de ses membres sur les procédés de M. Favet (1). Après une première discussion du 28 mai 1879, la question à été reprise le 9 juillet suivant, et les conclusions suivantes ont été finalement adoptées : « En résumé, il reste à l'actif de M. Favet son insistance à signaler avec raison les dangers que peut causer le grisou qui reste sans se mélanger à l'air dans les cloches et à la couronne des galeries, malgré un aérage parfois très énergique ; et la construction d'un ventilateur portatif à bras, très convenablement établi, ayant réalisé un progrès sérieux sur les appareils du même genre employés jusque-là. Quant au système général, il a été déjà condamné à plusieurs reprises par le Conseil général des mines et par la Société de l'industrie minérale. Il ne serait d'ailleurs applicable que dans des cas

(1) Pièces annexées aux procès-verbaux, etc., page 79.

particuliers. La Commission estime qu'il n'y a pas lieu d'y revenir. »

65. — *Chasses de grisou.* — On a proposé, pour assainir une houillère, de donner de temps en temps une chasse forcée au grisou, de manière à en ralentir ensuite la production pendant un certain laps de temps. En d'autres termes il s'agit, après avoir fermé tous les débouchés, de déterminer, en activant le ventilateur aspirant, une dépression très marquée qui fasse sortir le grisou, soit des pores de la houille, soit des vides des vieux travaux. On balaye cette exsudation à l'aide d'un courant général, et les vides ainsi expurgés, lorsqu'on laisse se rétablir le régime normal, se remplissent d'air pur qui en ressortira progressivement par le jeu ordinaire des pressions, au lieu et place du mélange beaucoup plus souillé auquel ils auraient sans cela donné naissance et que l'on vient d'en arracher.

Ce système n'a encore été jamais appliqué. Il provoquera très certainement l'appréhension des exploitants par le trouble profond qu'il apporterait dans les conditions normales de l'aérage, le danger de la rentrée des hommes dans les travaux après cette perturbation et la mise en liberté d'une grande quantité de grisou, peut-être insuffisamment lavée sur certains points, l'invasion des gaz des incendies dans les galeries, les rentrées d'air qui aviveraient ensuite les feux, sa pénétration dans le massif même qui provoquera l'inflammation du charbon quand celui-ci sera particulièrement prédisposé à l'incendie, enfin l'insuffisance du procédé en ce qui concerne les soufflards proprement dits (1). Il en sera de même pour la houille, dont l'épaisseur ainsi assainie ne saurait certainement être suffisante en général pour l'avancement d'une semaine. L'écoulement par les sur-

(1) MEURGEY : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VI, page 298.

faces mises à vif n'en serait dès lors nullement affecté pendant la fin de la période. On ne doit pas non plus perdre de vue la difficulté pratique que l'on éprouve à donner des coups de collier avec les ventilateurs. On sait en effet que la force en chevaux nécessaire croît en raison du cube du volume injecté, et doit être par exemple rendue huit fois plus grande si on veut doubler un débit établi. Du reste, M. Mallard émet un doute sur l'effet de la violence mécanique que l'on veut ainsi faire subir au gaz pour l'arracher de ses repaires. Il pense en effet que les puissantes actions moléculaires de l'endosmose peuvent avoir une part dans sa sortie spontanée en même temps que l'effort statique de la pression qui existe dans le massif.

Cette idée a été émise déjà par un certain nombre de personnes, parmi lesquelles je citerai les suivantes, sans avoir en aucune façon la prétention de fixer entre elles la priorité d'invention. On la trouve énoncée, vers 1872, par M. Wilfred Creswick, sous le pseudonyme de Robert Eloin (1). M. Chosson l'a développée en 1876 (2), ainsi que M. l'abbé Laborde (3). M. le colonel Fabre Massias l'a reproduite en 1877. M. Fowler a, de son côté, recommandé (4) d'exercer l'aspiration jusqu'au centre des remblais avec des machines intérieures pour être plus à portée. M. Blanchet, sans compter absolument sur son appareil d'extraction pneumatique comme moyen unique d'aérage, y voit cependant un puissant auxiliaire de la ventilation, à cause de la grande dépression, bien différente, en effet, de celle des ventilateurs de mines, que lui permet d'obtenir sa machine d'extraction, et qui met en mesure, en l'absence des ouvriers, d'appeler énergiquement l'air vicié des vieux

(1) Traduction par M. Chabaud (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 292).

(2) *Compte rendu mensuel*, etc., mai 1876, page 31.

(3) *Les Mondes*, tome XXXIX, page 605.

(4) *Transactions of the North*, etc., tome XVIII, page 157.

travaux et le grisou des pores de la houille mise au vif (1).

M. Francis Laur a repris cette question et l'a développée avec talent devant le congrès de la Société d'industrie minérale, à Douai, dans la séance du 9 juin 1876 (2). On doit reconnaître que, si le système avait quelque valeur par lui-même, M. Laur aurait fait faire un pas important à sa réalisation pratique par l'idée nouvelle qu'il a mise en avant. Il admet la présence de deux ventilateurs, l'un aspirant, l'autre soufflant, capables chacun de produire une dépression de 15 centimètres d'eau. En les faisant agir consécutivement, on détermine ainsi des chutes rapides de pression de 30 centimètres. M. Alfred Tresca a rappelé à cette occasion la proposition de M. Harzé, relatée plus haut (page 295), qui a pour but d'élever la pression en superposant le jeu de plusieurs ventilateurs. On aurait ainsi, en principe, non plus deux appareils, mais, en quelque sorte, deux batteries de ventilateurs; seulement, le système perdrait beaucoup de sa simplicité au point de vue de l'application. Le changement brusque ainsi déterminé provoque une *détente* du gaz pendant un temps assez court, que M. Laur évalue à un quart d'heure environ. A cette période succède un *brassage* produit par la réouverture progressive des guichets qui avaient été fermés, puis une *chasse* effectuée par la remise en train du premier ventilateur. Nous n'insisterons pas sur les évaluations numériques de l'auteur, qui ont été contestées par M. Meurgey, professeur à l'École de Saint-Étienne, dont on connaît la grande compétence. Elles ne sont, du reste, dans la pensée de leur auteur lui-même, qu'une première approximation dans cette question dont on ne possède pas, en l'absence d'essais expérimentaux,

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., mai 1876, page 32; et février 1878, page 28.

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VI, pages 293 et 787. — Journal anglais : *la Nature*, 20 février 1879. — *Compte rendu mensuel*, avril 1879, p. 102.

les éléments nécessaires pour établir des calculs rigoureux.

La Commission, après une discussion longue et attentive, à laquelle ont pris part MM. Burat, Le Châtelier, Mallard, Thénard, Tresca et le rapporteur soussigné, a formulé finalement, dans sa séance du 2 avril 1879, les conclusions suivantes : « La Commission, tout en rendant justice à ce qu'a d'ingénieux le procédé proposé par M. Francis Laur, émet l'avis qu'il serait probablement inefficace, et dans tous les cas dangereux. »

§ XII. — MOYENS PRÉVENTIFS NON FONDÉS SUR LA VENTILATION.

66. — Les procédés qui ont été employés ou proposés pour combattre le grisou, autrement qu'en le noyant dans une grande quantité d'air, sont les suivants :

1. — Pénitent.
2. — Endosmose.
3. — Captage par la densité.
4. — Lampes éternelles.
5. — Absorbants.
6. — Pression.

Pénitent. — Le principal moyen employé autrefois consistait à faire épurer les chantiers, avant la descente du poste, par un homme courageux, qui payait souvent de sa vie son dévouement. Il était chargé de parcourir la mine avec une mèche allumée, à l'aide de laquelle il enflammait au plafond les accumulations de gaz, de manière à en débarrasser pour un certain temps les travaux. Pour se préserver, d'ailleurs, autant que possible, il était recouvert d'un costume et d'un capuchon de cuir qui lui avaient fait donner le nom de *pénitent* (1). Il rampait à terre au mo-

(1) Pénitent, canonnier, fireman.

ment d'élever sa mèche. Parfois il organisait à loisir des systèmes de fils de fer sur lesquels il faisait avec une ficelle courir au moment voulu un petit chariot boute-feu, en se tenant lui-même aussi éloigné que possible. Ce moyen barbare a disparu sans retour.

67. — *Endosmose.* — M. Minary a proposé de capter le grisou à l'aide de tuyaux en terre poreuse, auxquels il attribue la propriété d'en déterminer l'endosmose. Cette canalisation conduirait le gaz jusqu'au jour, où il serait brûlé (1). Deux ventilateurs, l'un aspirant, l'autre foulant, placés à la surface aux deux extrémités de la conduite, y détermineraient le mouvement nécessaire. M. Minary cite des expériences qu'il a faites en 1868 (2), et d'après lesquelles 1 mètre carré de surface poreuse laissait tamiser par heure 700 litres de gaz. Ce phénomène paraît s'effectuer proportionnellement à la densité.

M. Guibal fait observer toutefois que ces résultats ont été obtenus avec une atmosphère de grisou pur, et qu'ils pourraient sans doute être différents avec des mélanges d'air et de grisou de teneurs variées.

Sans vouloir nier l'intérêt qui peut s'attacher à ce genre d'études, il sera permis de considérer, pour le moment, ce principe comme une simple proposition, et, dans tous les cas, comme un auxiliaire tout au plus et non comme un moyen fondamental de remplacer la ventilation. Nous avons vu, en effet, qu'il ne suffit pas d'enlever le grisou, il

(1) Pour tous les systèmes qui conduisent le grisou au jour, il est nécessaire de se préoccuper d'éviter soigneusement le voisinage de tous les feux de la surface. Une explosion a eu lieu dans ces conditions à Charleroi. (Mémoire de M. Creswick, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome IV, page 303).

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, page 619.

faut, en outre, supprimer les autres gaz étrangers, restituer de l'oxygène et rafraîchir la température (1).

68. — *Captage par la densité.* — M. Minary propose également un second mode de captage que la Commission ne saurait davantage approuver. Il est fondé, non plus sur l'endosmose, mais simplement sur la densité. L'auteur trace au plafond des galeries, des rigoles et des puisards renversés, comme on le ferait sur le sol pour recueillir de l'eau. Ces cloches seraient fermées par un plancher à claire-voie pour gêner la diffusion. Des tubes de zinc, ouverts à la partie supérieure, y recueilleraient le gaz, qu'une canalisation conduirait au jour.

69. — *Lampes éternelles.* — On employait autrefois les *lampes éternelles*, qui ont encore conservé des partisans, même éminents (2). On désigne sous ce nom des feux fixes placés au sommet des cloches et au plafond des galeries pour consumer le grisou au fur et à mesure de son arrivée sur ces points, avant qu'il atteigne la proportion explosible.

Mais on doit regarder ce procédé comme extrêmement dangereux, car un afflux anormal et un peu abondant pourra élever la teneur du mélange à un point où l'inflammation se propagera de proche en proche et sera capable d'atteindre des régions explosibles. De plus, le système suppose évidemment une grande tranquillité de l'atmosphère, sans quoi le grisou, au lieu de s'accumuler au toit, se noierait dans toute la masse. Or la combustion des lampes et du grisou détermineront un tirage et des secousses qui favoriseront, au contraire, la diffusion du gaz. Il ne faut pas se dissimuler non plus que ces inflamma-

(1) Avis adopté par la Commission dans la séance du 28 mai 1879.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXII, pages 440 et 479.

tions, même restreintes, exposent à un danger d'incendie. Il est enfin facile de comprendre que les surfaces ne pouvant être dressées avec un soin minutieux dans des tailles toujours en voie de déplacement, on ne pourra jamais être sûr d'avoir des feux dans toutes les anfractuosités capables de loger le grisou.

M. Gunther, pour diminuer le danger (1), reçoit le grisou dans des réservoirs, dont la base, formée de toile métallique, isole à l'intérieur la combustion. Le haut, de forme conique, communiquerait avec un tuyau évacuant les gaz brûlés. Le tirage de la lampe placée dans chacun de ces réservoirs aurait, du reste, pour effet d'y appeler avec plus d'activité l'air vicié.

On a proposé (2) un moyen à peu près équivalent, qui consiste à disposer des conducteurs électriques, interrompus sur les points critiques de manière à ce que le courant y détermine des étincelles qui provoqueraient périodiquement la combustion du grisou. Avec une complication de plus, cet appareil prête aux mêmes objections que le précédent.

M. Vicaire propose de remplacer, dans l'appareil de M. Gunther, excepté pour l'orifice de sortie, les toiles métalliques par des parois de terre poreuse, sauf quelques vitres, destinées à utiliser la lampe pour l'éclairage. L'endosmose appellerait dans cette enceinte isolée le grisou pour l'y détruire incessamment. L'auteur de cette proposition ne la considère, du reste, que comme un simple adjuvant, laissant subsister l'emploi des moyens généraux ordinaires. Remarquons cependant que le principe des lampes éternelles suppose, comme je l'ai déjà dit, un air stagnant,

---

(1) *Berg und hüttenmännische Zeitung*, 1876, pages 93 et 233.
(2) M. Giraud (*Berg geist*, 1865).
M. Sommer (*Berg und hüttenmännische Zeitung*, 1867, page 81).
M. Hansell, *Ibidem*, page 297).

pour que le grisou aille, par sa densité, se loger avec quelque abondance sur les points préparés dans ce but. Il est donc, en quelque sorte, exclusif d'une ventilation active, et, s'il devenait nécessaire de choisir entre les deux moyens, la préférence ne saurait être douteuse.

Mais il est une raison qui prime toutes les autres pour écarter le principe des lampes éternelles sous toutes ses formes. Sur la demande de la Commission, MM. Mallard et Le Châtelier ont entrepris des expériences spéciales pour déterminer la quantité de grisou brûlé par une lampe. Il a été ainsi reconnu que cette proportion est absolument insignifiante et, par suite, l'efficacité du procédé pour ainsi dire nulle (1).

Les lampes éternelles existent encore aujourd'hui dans les houillères. Il résulte, en effet, du rapport officiel sur l'explosion du 1er décembre 1879, à la mine de Brückenberg-Zwickau (Saxe), transmis à la Commission par l'obligeance de M. le directeur général des mines Von Huyssen, que des lampes éternelles y brûlaient, *d'après les prescriptions réglementaires*, dans tous les chantiers suspects. La Commission croit donc de son devoir de réagir contre cette pratique, qui lui paraît devoir être absolument abandonnée. Elle a, dans sa séance du 28 mai 1879, émis la conclusion suivante : « La Commission est d'avis que l'emploi des lampes éternelles à feu nu, ou des étincelles continues pour brûler le gaz au fur et à mesure de sa production, constituerait une cause de danger des plus graves, et doit être rigoureusement interdit. Sans préjuger le résultat des essais qui pourraient être tentés dans la voie indiquée par M. Vicaire, la Commission pense que le seul moyen de se débarrasser du grisou, à mesure qu'il se dégage au front de taille, est d'y diriger un courant d'air suffisant pour diluer le gaz et le rendre inoffensif. »

---

(1) *Recueil des pièces annexées*, etc., page 150.

10. — ***Absorbants.*** — M. Puncham a annoncé que le chlorure de chaux absorbait le grisou. Mais des expériences directes ont établi le contraire (1).

Aloys Wehrle avait mis en avant l'emploi de l'éponge de platine pour condenser l'oxygène et le grisou en déterminant leur combinaison (2). Pour éviter que la chaleur ne portât le platine au rouge en provoquant l'inflammation, il lui adjoignait une certaine quantité d'argile. Mais M. Trasenster a constaté expérimentalement l'inefficacité de ce principe (3).

On a proposé également sous le titre suivant : *Le grisou vaincu chimiquement* (4), un procédé fondé sur l'affinité du chlore pour l'hydrogène contenu dans le grisou. Un mélange d'acide sulfurique et de chlorure de magnésium met en liberté le chlore qui attaque le grisou pour former de l'acide chlorhydrique absorbé, par un lait de chaux. Il est à peine nécessaire de faire remarquer qu'une pareille formule ne saurait être pratique. De plus, un excès de chlore serait évidemment pernicieux pour la population souterraine.

Il est bon du reste de faire remarquer qu'il ne paraît pas y avoir une utilité réelle à persister dans la voie de recherche de meilleurs absorbants du grisou. En effet ces agents, quelle que fût leur efficacité, à moins de la supposer prodigieuse, ne pourraient être suffisamment répandus sur toute la surface des travaux pour faire disparaître le gaz au fur et à mesure de son dégagement, et pour éviter qu'aucune partie, même restreinte, de l'atmosphère ne

---

(1) Ponson : *Traité d'exploitation des mines de houille*, tome II, page 28.

(2) *Die Grubenwetter, von Doctor Aloys Wehrle*, Vienne 1835; page 35.

(3) *Annales des travaux publics de Belgique*, tome VII, page 179.

(4) Ce procédé est cité par M. Dombre dans son intéressant ouvrage intitulé : *le Grisou*, page 50.

devint grisouteuse. En outre leur action s'userait naturellement par la saturation progressive des affinités et il en résulterait pour leur renouvellement en temps utile un assujettissement qui, très probablement, entraverait les services d'une manière impraticable. Il resterait en outre à s'assurer dans chaque cas que ces absorbants si énergiques ne seraient capables par eux-mêmes d'aucune influence fâcheuse.

Les mineurs connaissent par expérience ce genre de difficultés, lorsqu'ils tentent d'absorber à l'aide de l'eau de chaux, ou de la chaux en poudre, l'acide carbonique des cavités difficiles à ventiler. On n'a jamais considéré ce moyen que comme un expédient des plus restreints dans son usage, et nullement comme applicable couramment à la totalité d'une exploitation. Cependant il s'agit là d'un réactif très simple et d'une affinité énergique.

71. — *Pression.* — M. Bérard a proposé de combattre la production du grisou par une pression statique de 30 à 40 centimètres d'eau développée dans toute la mine. Mais nous avons vu que cette pression, et d'autres même bien supérieures, seraient presque toujours absolument impuissantes à empêcher ce dégagement. De plus, il serait à peu près impossible de maintenir la pression dans toute l'étendue d'une mine au milieu d'un sol crevassé. On ne l'a que trop éprouvé quand on a cherché à établir des sas d'air, quoique bien limités, lors du coup d'eau de Tynewidle, pour rejoindre les ouvriers enfermés par l'inondation dans les cloches naturelles d'air comprimé. Enfin, la question de l'extraction, surtout avec la rapidité vertigineuse qu'elle tend de plus en plus à prendre, apporterait sous ce rapport des difficultés inextricables (1).

(1) Avis de la Commission dans sa séance du 28 mai 1879.

§ XIII. — TIRAGE A LA POUDRE.

72. — *Précautions dans le tirage.* — Pour lutter contre le grisou, un premier ordre d'idées consistait évidemment à tenter de *le supprimer*. De là un certain nombre de propositions qui sont contenues dans le § XII et dont nous venons de reconnaître l'inanité. Dès lors on se trouvait conduit, en se résignant à la présence du gaz, à se proposer simplement de *le rendre inexplosible*. Tel est l'objet de l'aérage, auquel nous avons consacré les §§ VII à XI. Si ce procédé était infaillible, le problème serait aussi bien résolu que par la suppression elle-même. Mais, comme il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi, il nous reste à aborder un troisième ordre de considérations, en acceptant dorénavant le danger de l'inflammabilité du grisou et cherchant à constituer un ensemble de précautions spéciales capables de *supprimer les causes de son inflammation*, ou du moins de les éloigner autant que possible. Ce genre de préoccupations s'étend particulièrement à quatre points principaux : l'éclairage, le tirage à la poudre, la disposition des travaux et la réglementation générale. L'examen de ces quatre ordres de questions va faire maintenant l'objet des §§ XIII à XVI.

Le tirage à la poudre constitue évidemment un grand danger d'inflammation du grisou ou des poussières, tant dans l'opération de l'amorçage que par l'explosion elle-même, surtout lorsque le coup débourre. En outre la secousse imprimée à l'atmosphère peut faire sortir la flamme des lampes de leur treillis protecteur. La statistique des coups de grisou montre en effet que cette cause d'accident est l'une des plus meurtrières. La Commission a donc apporté un soin particulier à étudier les moyens préventifs qu'il est possible de lui opposer.

Le premier péril auquel il faille parer est celui de l'inflammation du gaz par l'amorce elle-même. On doit proscrire, sous ce rapport, les matières qui donnent de la flamme, telles que les canettes, raquettes, mèches soufrées, étoupilles goudronnées, etc., et n'admettre que l'étoupille non goudronnée, allumée au moyen de l'amadou et du briquet. Encore ce dernier doit-il être considéré comme très suspect. M. Griot vient de répéter (1) des expériences de M. de Villaine qui montrent que le gaz de l'éclairage, et probablement par suite le grisou, peuvent être enflammés par les étincelles du briquet et aussi par celles de l'étoupille de sûreté quand elle est fendue. M. Ruggieri vient de proposer des étoupilles à friction analogues à celles de l'artillerie. On évite ainsi les longs-feux, si difficiles à distinguer des ratés dans les conditions ordinaires. Il n'entre en effet dans la composition de ces amorces aucune matière fusante. De plus, l'homme qui est chargé de faire partir les coups de mines n'y procède en tirant la cordelette qu'après qu'il s'est mis préalablement en sûreté, tandis qu'avec les procédés usités il ne peut songer à assurer sa sécurité personnelle qu'après avoir allumé la mèche, et peut alors se trouver entravé dans sa retraite par quelque obstacle inattendu.

Une seconde cause de danger réside dans la charge. Il faut d'abord recommander l'emploi de la poudre comprimée et surtout de la poudre comprimée-papetée de M. Ruggieri, qui évite la production du pulvérin capable de produire de la flamme en dehors de celle du coup lui-même.

Quant à cette flamme, on doit la considérer comme inévitable en principe, mais chercher à en diminuer l'intensité en employant une poudre aussi brisante que possible. Sans entrer ici dans la discussion des innombrables explosifs qui ont été proposés, on peut attendre peut-être un résultat utile

(1) *Comptes rendus mensuels*, avril 1880, page 88.

du remplacement du salpêtre dans la poudre ordinaire par le nitrate de soude à 85 p. 100, lorsqu'on aura réussi à éviter l'hygroscopicité de ce produit, ce qui paraît être une simple question de purification. Les gaz de la poudre n'interviennent que par leur température et en quelque sorte comme l'allumette qui met le feu au gaz. Mais cette température elle-même est indispensable, car elle constitue l'élément direct de la puissance explosive. Il ne saurait donc être question de la diminuer en principe, mais seulement de chercher à en déterminer la décroissance rapide après sa production, de manière à ce que les gaz se répandent en dehors sans incandescence. Le problème ainsi posé paraît d'une extrême difficulté, mais on aurait sans doute tort de le considérer *à priori* comme tout à fait insoluble.

Une tentative au moins a été faite pour le résoudre. Malheureusement elle n'a pas paru couronnée de succès. Je veux parler de la cartouche Mac Nabb (1) qui renferme une certaine quantité d'eau placée dans un cylindre de papier-carton entre la poudre et la bourre. La volatilisation de cette eau est destinée à produire le refroidissement des gaz et peut-être à interposer un matelas de vapeur entre ceux-ci et l'atmosphère grisouteuse. Quoi qu'il en soit des idées théoriques que l'on peut se former à cet égard et de quelques succès annoncés par l'auteur, des essais faits à Blanzy devant les hommes les plus compétents n'ont pas répondu aux espérances qui avaient été formulées à l'avance.

Quant à l'inflammation des soufflards proprement dits par un coup de mine, M. Murgue, qui a fait quelques expériences à cet égard, y a reconnu la plus grande irrégularité ; et cela n'a certes rien qui doive surprendre. Il lui

---

(1) Pièces annexées aux procès-verbaux, page 77 (M. Ruggieri) et page 78 (M. Mathet). — *Comptes rendus mensuels*, novembre 1879, page 261.

est même arrivé une fois de voir un soufflard allumé par la mèche et ensuite éteint par l'explosion elle-même.

La situation du trou de mine n'est pas sans importance. Dans les gîtes grisouteux, c'est surtout au plafond que réside le danger. Les coups en couronne devront être interdits. Dans les houillères poudreuses, c'est au contraire à la sole que le péril se trouve reporté. Il faudra donc éviter de placer des trous de mine à la partie inférieure et dans une direction capable de soulever le tourbillon de poussières.

M. Mallard indique l'emploi de portes mobiles que l'on reporterait de distance en distance de manière à suivre d'assez près les avancements dans les traçages. Ordinairement ouvertes pour l'aérage, ces portes seraient fermées au moment de l'allumage pour tenter de restreindre l'explosion à ce faible espace, si un coup de poussières ou de grisou venait à s'y produire.

Dans les mines grisouteuses, quel que soit l'ensemble des précautions prises, on ne peut jamais se considérer comme à l'abri de tout danger que par la constatation formelle de l'absence absolue du gaz un instant avant l'allumage. De plus, cette constatation doit être recommencée à nouveau entre chaque coup ou chaque volée électrique. Il arrive souvent, en effet, qu'un pétard, par l'ébranlement qu'il détermine dans les parois, en fait sortir le grisou comme on exprimerait l'eau contenue dans une éponge en la pressant. Dans ces conditions, l'atmosphère, qui était pure avant le premier coup, peut devenir explosive pour le suivant. L'allumage doit être fait par les maîtres-mineurs seuls, ou des hommes spécialement chargés de ce soin. Outre que de tels agents finiront par acquérir une très grande expérience personnelle, il est bon de faire procéder à l'allumage par un homme qui ne soit pas intéressé aux opérations du chantier et sollicité par son intérêt personnel à développer l'abatage autant que possible. Ces *firemen* sont même

parfois préposés au chargement en même temps qu'à l'inflammation des coups forés par les piqueurs.

Il reste enfin à signaler un dernier moyen de tirer, même dans le grisou, sans danger pour les personnes, sinon pour les travaux; ce qui ne résout, par conséquent, que la moitié de la question, à la vérité de beaucoup la plus importante. Il consiste à enflammer, à l'aide de l'électricité, des volées de coups de mine pendant que tout le personnel se trouve hors des travaux. La pratique du tirage électrique s'améliore chaque jour et est devenue tout à fait courante sur beaucoup de points (1).

72. — ***Moyens de remplacer la poudre.*** — Cet ensemble de précautions, bien observé, a paru à la Commission devoir suffire dans la presque totalité des cas. On peut cependant toujours prévoir un tel degré d'infection grisouteuse, dans certains quartiers exceptionnels, que l'interdiction absolue du tirage à la poudre y soit l'*ultima ratio* de la sécurité. Il convient donc, à cet égard, d'indiquer les moyens de suppléer à l'emploi de la poudre dans les travaux souterrains. Ce sont d'abord les systèmes de coins appelés *federkeil* au Hartz et aiguilles infernales dans nos pays. Tels sont les appareils Cochrane, Degheye, Demanet, Guibal, le coin à vis à mouvement oscillant de M. Levet, etc. (2). En second lieu, la pression hydrostatique de l'eau ou même de l'air comprimé à près de mille atmosphères, comme dans les leviers hydrauliques de Bidder et Jones, Chubb, Davies, Grafton, Guibal, Tangye, etc. (3). M. Levet a par-

---

(1) HATON DE LA GOUPILLIÈRE : Revue des progrès récents de l'industrie des mines et des machines à vapeur (*Annales des mines*, 7e série, tome XVI, page 18). — JUTIER, *ibidem*, tome XVI.

(2) *Comptes rendus mensuels*, mai 1880, page 97. — *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXIX, page 154, et 1er volume de 1877, page 129.

(3) *Traité d'exploitation* de PONSON. — *Prospectus* de MULLER et

ticulièrement perfectionné ce genre d'engins et en a construit un qui est d'une pratique courante et satisfaisante (1). C'est enfin le bosseyement mécanique, opération qui consiste à substituer au fleuret d'une perforatrice une masse avec laquelle on frappe, à l'aide de l'air comprimé, sur des coins placés dans le trou foré par la machine, de manière à en faire éclater les parois (2). En ce moment, la bosseyeuse Dubois-François fonctionne avec succès à Marihaye. On annonce dans le coupage des veines des avancements triples et quadruples de ceux du système ordinaire, avec un prix moitié moindre. Pour les travers-bancs, on obtient à peu près la même vitesse et le même prix que dans le travail à la main et à la poudre.

§ XIV. — DISPOSITION DES TRAVAUX AU POINT DE VUE DE L'AÉRAGE.

74. — *Moyens d'exécution.* — Indiquons d'abord les moyens matériels employés pour diriger ou subdiviser à volonté le courant. Ce sont les portes, les cloisons ou barrages, les tuyaux ou canars. Sans eux, l'air irait par le chemin de moindre résistance du point d'entrée à l'orifice de sortie.

Les portes servent à interrompre le courant sur des points où il est en même temps nécessaire de conserver la circulation des hommes. Quelques-unes sont munies de guichets que le maître mineur ouvre plus ou moins pour régler la répartition de l'air, et dont lui ou les chefs de poste con-

---

ROUX. — *Comptes rendus mensuels*, novembre 1877, page 10. — *Revue universelle des mines et des usines*, tome XXIX, page 155.

(1) MATHET : *Étude sur le grisou*, lithographié, Montceau-les-Mines, 1878, page 94.

(2) *Revue universelle des mines et des usines*, 1er volume de 1877, page 127.

servent parfois la clef pour empêcher que l'ouverture en puisse être modifiée. Cette disposition permet de *brider* l'air. Pour prévenir l'effet fâcheux des anfractuosités que laissent derrière elles les portes à guichets, il faut avoir soin de les établir à l'entrée du quartier, dans l'air pur, et non à la sortie, dans l'air vicié ; sans cela les remous qui ne sont pas entraînés par le courant pourraient s'enrichir progressivement de grisou et atteindre une proportion explosible. Les portes les plus importantes sont gardées par des portiers ; la plupart sont manœuvrées par les hommes qui passent ou sont battantes. Toute porte momentanément sans emploi doit être enlevée de ses gonds pour bien marquer cette circonstance ; sans quoi chacun aurait le devoir de la considérer comme ouverte par mégarde et de la refermer avec soin. On doit recommander l'emploi des portes doubles qui laissent entre elles un espace égal au développement des plus longs trains. Ceux-ci s'y engageront comme dans un sas d'écluse, de manière que la communication ne cesse jamais un seul instant d'être interceptée. Les portes *solidaires* sont tellement disposées, que l'ouverture de l'une ferme nécessairement sa conjuguée. Leur emploi est notamment recommandé par M. Creswick (1) et M. Delafond. Les systèmes mécaniques proposés jusqu'ici à cet égard sont défectueux et inspirent une juste défiance aux exploitants. Mais le principe est intéressant en lui-même. M. Aguillon a signalé des accidents dus essentiellement à ce que les deux portes conjuguées, étant en fait indépendantes l'une de l'autre, s'étaient trouvées ouvertes à la fois, constituant par là tout un quartier à l'état de cul-de-sac sans aérage. Quant aux portes Verpilleux, nous n'en parlerons qu'à l'occasion des coups de feu, car elles ne sont pas établies en vue de l'aérage normal.

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 301.

Lorsque la rencontre géométrique de deux galeries n'est pas destinée à ce qu'on passe jamais de l'une dans l'autre, au lieu d'une porte on établit une voûte, ou on laisse un massif en faisant passer les voies l'une au-dessus de l'autre. Il est bon que ces défenses soient très largement établies pour pouvoir résister à un coup de feu.

Quand il s'agit de ménager dans toute la longueur d'une galerie une voie d'aérage directe et un retour d'air, on peut se servir en premier lieu de gros tuyaux en tôle ou en zinc présentant $0^m,20$ à $0^m,30$ de diamètre, et posés dans les angles, à terre ou au plafond. Cette section peut souvent même être insuffisante, et alors on emploie de préférence des caisses en bois à emboîtement de $0^m,35$ sur $0^m,60$ comme dimensions transversales et 3 mèt. de longueur (1). L'air y est envoyé du courant principal à l'aide d'un ventilateur à bras. Mais ce moyen est précaire ; le manœuvre non surveillé se néglige ; lors même qu'il travaille consciencieusement, il peut arriver qu'il installe mal son appareil et ne fasse que brasser sur place l'atmosphère de l'ouvrage au lieu de puiser dans l'air pur du courant général (2).

Pour cette raison, on doit autant que possible préférer aux canars des cloisons ou galandages régnant sur toute la hauteur de la galerie et partageant sa section en deux travées, du reste très inégales. Si ces cloisons sont en planches, il faut les recouvrir d'un lut argileux, sans quoi elles occasionnent une grande déperdition du courant. Au charbonnage de Bellevue, par exemple, une dépression de 26 millimètres d'eau se trouvait réduite à 6 millimètres après un parcours de 300 mètres, le long d'un galandage imparfait. De même à Belle-et-Bonne (3), un débit de $3^{m^3},75$

(1) CHANSSELLE ; *Ibidem*, 2ᵉ série, tome III, page 471.

(2) Instruction sur les mesures de sûreté (*Annales des mines*, partie administrative, 7ᵉ série, tome I, page 144).

(3) HARZÉ : *Revue universelle des mines et des usines*, 10ᵉ année, page 457.

n'était plus que de 2 mètres cubes au bout d'un kilomètre, bien qu'il ne rencontrât aucune voie latérale qui n'eût été complétement remblayée. On établit aussi ces cloisons en briques lorsqu'il s'agit de galeries. Pour les puits, ce dernier mode est d'une réalisation plus difficile et extrêmement précaire, quoiqu'elle ne soit pas sans exemple.

Les barrages sont destinés à offrir plus de résistance à un coup de feu. Les plus importants sont construits en maçonnerie épaisse ou en argile pilonnée. Bien souvent on se contente d'un massif de remblai ordinaire. Mais il faut avoir soin de le serrer autant que possible; sans quoi, outre l'inconvénient du tassement, il donnera lieu à une très grande déperdition d'air. Une observation effective a montré un débit de 2^{m3},7 réduit à 1^{m3},8 après un parcours de 700 mètres dans une galerie ménagée au milieu des remblais.

On peut citer comme exemple de l'emploi des remblais pour faire fonction de galandage la disposition adoptée pour la voie de fond dans la méthode des grandes tailles. On pratique cette coupe sur une largeur suffisante, pour que le stérile qu'elle produit, en entaillant le toit ou le mur dans les couches minces, puisse former une séparation au milieu, en ménageant deux voies suffisantes pour le roulage et le chemin d'air. Cette taille marche en effet en reconnaissance à une certaine distance en avant des chantiers, et il faut que le courant aille passer à son avancement avant de revenir s'engager dans les décrochements successifs du plan général de l'ouvrage.

On a préféré, dans certains cas, conduire parallèlement deux galeries jumelles séparées par un massif de houille d'une faible épaisseur, que l'on perce de distance en distance par des recoupes. Ces dernières sont successivement bouchées au fur et à mesure qu'on en ouvre une nouvelle, et c'est par celle qui se trouve la plus voisine de l'avancement que passe le courant. Le cul-de-sac qui existe en avant

de cette dernière est ordinairement aéré par diffusion en raison de son peu de longueur. Mais si les conditions sont difficiles, on peut y pratiquer un galandage, que l'on reporte de travée en travée, en le démontant en arrière de la dernière recoupe pour le prolonger en avant. Ce procédé a été employé notamment dans un montage difficile exécuté sans aucun accident par M. Chansselle au milieu du grisou à Firminy, en 1864, sur une longueur de 365 mètres et avec une pente de 11 degrés. On maintenait entre les recoupes une distance de 20 à 25 mètres, qui s'est encore souvent trouvée insuffisante. Le galandage mobile était construit en briques, lesquelles peuvent resservir indéfiniment, ce qu'on n'obtiendrait pas avec des planches (1). Ce système est souvent employé dans le Gard. Il est également appliqué à Orlau (Silésie). Les galeries jumelles y sont à 20 mètres l'une de l'autre et les recoupes se succèdent à 15 ou 20 mètres de distance. On le rencontre aussi en Westphalie; mais alors les chemins d'air d'une galerie à l'autre sont parfois formés de simples coups de sonde, ce qui permet de les multiplier davantage de manière à suivre de plus près l'avancement, mais ce qui, évidemment, crée en même temps des résistances inadmissibles (2).

On emploie aussi à Ronchamp pour les puits, ce même principe de deux percements jumeaux reliés par des traverses et se prêtant un mutuel appui pour leur aérage pendant le fonçage.

Si deux courants viennent à la rencontre l'un de l'autre dans une galerie pour entrer ensemble dans un branchement perpendiculaire, on risque que le plus fort ne vienne à refouler l'autre. Il convient alors de disposer un bout de

---

(1) CHANSSELLE : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* 2e série, tome III, page 449.

(2) *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen*, 1872 tome XX.

cloison barrant la première galerie suivant l'axe du branchement et s'engageant dans ce dernier. On a soin de raccorder les angles vifs par des pans coupés à 45°. De cette manière, les deux courants s'infléchissent sans choc et s'engagent côte à côte dans le branchement où, loin de se nuire mutuellement, chacun d'eux tend plutôt à attirer l'autre par une sorte de succion.

75. — *Disposition des travaux.* — Tels sont les moyens matériels dont on dispose pour assujettir le courant à parcourir le circuit que l'on aura jugé le plus convenable. Mais il reste maintenant à indiquer comment le plan général des travaux devra être entendu, autant que possible, pour créer des conditions favorables à leur assainissement, en évitant tout ce qui peut lui être contraire. Ici la question s'élargit au point de devenir presque inabordable, car il ne s'agirait, pour ainsi dire, de rien moins que de la discussion de toutes les méthodes d'exploitation qui sont en usage. Je me contenterai de dégager, du moins, quelques règles générales (1).

En ce qui concerne l'extérieur, et sans vouloir étendre à toutes les mines grisouteuses la gêne qui pourrait naître de cette prescription, il sera bon, pour celles que l'on peut croire sujettes aux dégagements instantanés dont nous avons parlé (p. 217), d'éloigner de l'orifice du puits tous les feux nus, sans quoi le grisou sortant au jour pourrait venir s'y enflammer, comme on en a eu déjà plusieurs exemples.

Quant aux communications avec l'intérieur, on doit regarder comme très désirable que toute exploitation, au moins quand elle est parvenue à son état normal, présente

(1) On trouve d'excellents exemples accompagnés de figures dans le second volume du *Traité d'exploitation des mines de houille*, de M. Demanet, pages 117 et suivantes.

un minimum de deux issues distinctes au jour, l'une pour l'entrée, l'autre pour la sortie de l'air. Cette disposition est réglementaire en Angleterre; on l'admet également comme d'une nécessité évidente dans toute la France. Le bassin du Nord et du Pas-de-Calais fait seul exception, à cause du prix énorme qu'y atteint souvent le percement des puits. Aussi y pratique-t-on encore l'emploi du goyau d'aérage, en divisant en deux compartiments un puits unique, mais seulement dans la traversée des morts-terrains. Il est inutile de faire remarquer qu'outre la perte de gaz qui s'effectue à travers la cloison et le danger de la voir désorganiser par un coup de grisou, l'éboulement du puits, l'incendie de ses boisages, son encombrement irrémédiable par la chute d'un balancier de machine ont déjà occasionné dans des mines à puits unique des accidents qui ont fait parfois plus de cent victimes. Il existe en ce moment, en Angleterre (1), une certaine tendance à armer les deux puits à la fois de machines d'extraction, en prenant des précautions spéciales pour les recettes de celui qui sert au mauvais air. On trouve à cette combinaison l'avantage qu'elle exige des calibres plus grands pour le retour d'air, trop souvent sacrifié, qu'elle force à le murailler, à le visiter et à l'entretenir plus soigneusement, et surtout qu'elle procure pour le sauvetage de grandes facilités, en donnant plus de chances pour la conservation des moyens d'extraction.

76. — Si le gîte présente une grande abondance de grisou, M. Malherbe conseille de ne faire que successivement le havage en divers points d'une même taille pour éviter des dégagements trop abondants.

Les tracés à gradins renversés employés dans les dressants, particulièrement dans les maintenages dont les angles rentrants sont multipliés, sont particulièrement dan-

(1) *Ibidem*, tome I, page 120.

gereux, en raison des nids de grisou qui s'établissent dans ces angles, avec lesquels il est impossible de conduire le courant absolument jusqu'au fond.

Les méthodes par grandes tailles sont, d'une manière générale, préférables (1) à celles par massifs courts, qui tendent à écraser les piliers et à faciliter la sortie du gaz (2).

Les fronts de taille en inclinaison seront plus vivement léchés par le courant que ceux qui se trouvent en direction et le long desquels le gaz stationnera précisément au milieu des hommes et des lampes. On voit donc que, sous ce rapport, la méthode des grandes tailles chassantes est préférable à celle des tailles montantes, qui doivent être proscrites de toute mine vraiment grisouteuse.

Si le charbon se tient mal et facilite la formation des cloches, M. Fumat conseille de mettre les galeries d'une certaine durée au toit plutôt qu'au mur. La fatigue qu'elles subissent alors pendant l'exploitation oblige à des recoupages périodiques du plafond qui suppriment toute la partie fendillée, transformée en une véritable éponge imprégnée de grisou, qu'il est impossible d'en faire sortir.

La production des cloches dans le toit des ouvrages doit être surveillée avec le plus grand soin, et ces vides comblés sans retard par les moyens connus. M. Thénard a proposé, pour le cas où ce travail ne peut être exécuté sur-le-champ, de purger les cloches de grisou en renversant de haut en bas un appareil employé parfois par les fumistes pour aider à l'extraction de la fumée. Il consiste en un bout de tuyau plongeant dans la cheminée et portant à la partie supérieure, sur un axe perpendiculaire, deux troncs de cône accolés par leur petite base. Une girouette oriente ce système dans la direction du vent qui s'engouffre par l'un des

---

(1) Il est expressément entendu dans tout ce qui suit que les appréciations comparatives des méthodes sont faites *au strict point de vue de l'aérage, comme s'il n'en existait aucun autre.*

(2) Lewis : *Transactions of the North*, etc., tome XXI, page 5.

cônes et sort par l'autre, en augmentant de vitesse dans l'étranglement et exerçant par là une succion qui aspire la fumée. Dans le cas actuel, le double cône serait placé dans le sens de la galerie, et le corps du tuyau monterait verticalement jusqu'au sommet de la cloche. Mais l'expérience seule pourrait prononcer à cet égard, en raison de la grande différence de vitesse que présentent ces deux applications. Le courant ne doit pas, en effet, dépasser dans les mines 1^{m},60, tandis que les brises légères dans l'atmosphère sont déjà de plusieurs mètres par seconde.

Les ouvrages en remonte, étant analogues aux cloches, doivent être proscrits autant que possible. Si une impérieuse nécessité oblige à pratiquer une remontée en cul-de-sac, il faut la conduire avec un surcroît de précautions, une discipline sévère, et en la divisant par une gaîne d'aérage conduite jusqu'à l'avancement, ou au besoin en employant les percements jumeaux dont il a été question (page 323).

Ces vues ont été cependant battues en brèche par M. Favet. Des expériences ont été faites à Montrambert par une Commission spéciale (1), pour contrôler les idées émises par cet ingénieur, et particulièrement pour établir la comparaison des ventilateurs aspirants ou foulants dans les chantiers en remonte ou en descente. On s'est préoccupé d'apprécier la manière dont ces appareils réussissent à débarrasser les ouvrages, soit du grisou, soit des fumées de la poudre. La question n'est du reste pas la même, car le grisou est plus léger que l'air et la fumée plus lourde après son refroidissement. Les conclusions du rapport sont les suivantes (2) : « La descente avec aspiration paraît de-

(1) MM. Tournaire, Gonthier, Baroulier, Grille, Desjoyeaux, Vicaire, rapporteur (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome IV, page 1).

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, page 23.

voir être absolument écartée, la remonte avec refoulement est nettement inférieure à la descente avec refoulement. On ne peut donc mettre en balance que cette dernière et la remonte avec aspiration. Celle-ci présente plus de sécurité dans presque toute son étendue, mais elle renferme un point dangereux dans le haut du front de taille. Avec la descente, il y a possibilité d'explosion dans un plus grand nombre de points, mais nulle part il n'y a une grande accumulation de gaz, et le front de taille, en particulier, présente plus de sécurité. »

Si un quartier tracé d'après une méthode quelconque admet un point maximum en cul-de-sac, il convient de le dégager pour la période de dépilage par un chemin d'air partant de ce point et menant à un étage supérieur ou au jour. Il est à peine besoin d'en citer des exemples. Je mentionnerai cependant ce qui a été fait dans ces conditions par M. Ross à Springwell (1).

De même un fonçage de puits sous stot, au milieu d'une masse imprégnée de grisou, devra être surmonté d'un trou de sonde pour l'évacuation ascensionnelle de l'air, au lieu de rabattre ce dernier dans un goyau après qu'il a passé au sommet de l'ouvrage.

On doit prendre des précautions semblables pour les planchers établis dans les puits. Des accidents ont été dus à cette cause à Campagnac, à Auchy-au-bois (2), au puits saint-Charles de Charleroi en 1859, au puits sainte-Marie de Seraing en 1860, à la mine Conception de Charleroi en 1861 (3), au puits Neyron, d'après M. Grand-Eury, à la Grandcombe le 25 juillet 1851, à Ronchamp le 15 juin 1862, suivant M. Murgue. Ces planchers devront être à claire-voie s'ils sont en bois, et percés de trous s'ils sont en fer.

(1) *Transactions of the North*, etc., tome VII, page 69.
(2) *Annales des mines*, 7e série, tome VI, page 1.
(3) RENIER-MALHERBE : *Du Grisou*, 1862.

Des soins analogues seront employés dans le sens horizontal pour des galeries menées à la rencontre de vieux travaux. On doit alors se faire précéder d'un coup de sonde constamment entretenu à une distance suffisante de l'avancement. Dans une galerie percée ainsi à Newbotle-Colliery (1) on ne donnait pas moins d'une douzaine de mètres au trou de sonde. Si l'on rencontre des amas de gaz, il ne faut les dissiper qu'avec les plus grandes précautions, en présence d'un ingénieur, autant que possible, et quand on a acquis la certitude de ne pas créer par là un danger sur le parcours. On emploie aussi les coups de sonde pour *saigner* le charbon et en extraire progressivement le gaz avant la tombée en masse au moment de l'abatage.

On emploie même comme exploration plus que des coups de sonde. M. Galloway conseille, quand on se croit exposé à la rencontre de soufflards d'une certaine importance, de faire précéder les fronts de taille par des galeries d'exploration en communication directe avec le retour d'air. Dans ce même cas, il y a lieu de subdiviser beaucoup le courant de manière que chaque fraction n'ait à parcourir qu'une longueur modérée de front de taille (2). M. Lewis indique à cet égard une limite de 270 mètres (3).

M. Creswick va jusqu'à recommander pour l'exploitation des couches qui dégagent du grisou par le mur, ce qui est le cas le plus défavorable, de faire précéder le dépouillement par un traçage dans la roche du mur pour débarrasser celui-ci de la masse principale de son gaz par une sorte de drainage préalable (4); opération rationnelle en effet, mais qui entraîne des frais assez notables pour qu'il puisse être nécessaire de s'en préoccuper avant tout.

---

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XV, page 99.

(2) GALLOWAY : *Prevention of Colliery accidents.*

(3) *Transactions of the North*, etc., tome XXI, page 5.

(4) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, page 291.

Sous ce rapport l'exploitation de plusieurs couches superposées peut être considérée comme une condition favorable (1).

27.— Un des points qui doivent le plus fixer l'attention dans la méthode d'exploitation concerne les travaux abandonnés après le foudroyage du toit ou le remblayage. Nous avons vu, en effet, qu'ils constituent parfois un danger par l'air vicié qui en remplit les vides, et qui peut en sortir soit par une baisse barométrique, soit par la chute du toit dans les parties où il est resté intact, etc. Dans les méthodes d'éboulement, la tombée se fait au hasard, tandis qu'avec le remblayage les matériaux sont disposés de main d'homme. On doit donc alors, pour leur donner toute leur valeur, apporter un soin particulier à diminuer les vides. De plus, le danger des méthodes de foudroyage oblige le plus souvent à y abandonner du charbon capable de dégager ultérieurement du grisou pour son propre compte. Les méthodes d'éboulement ne sauraient d'après cela soutenir la comparaison avec le principe du remblai dans les gîtes grisouteux.

Les méthodes sans traçage se recommandent en général, en ce qu'elles fatiguent moins la houille. Mais lors de la présence du grisou, M. Delafond trouve que la question change de face, en ce que cette fatigue même aide à la sortie du gaz et prépare l'assainissement du quartier avant son déhouillement systématique. Il recommande même sous ce rapport de mettre alors un intervalle de temps suffisant entre le traçage et le dépilage.

Parmi ces méthodes, celles où le dépilage se fait en s'éloignant des plans inclinés, et conservant seulement des voies de roulage dans les remblais, présenteront un certain désavantage sur celles dans lesquelles le traçage transporte

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XVIII, page 27.

de suite les tailles aux limites du champ d'exploitation, d'où l'on bat en retraite vers le plan incliné. En effet, ces galeries en massif auront bientôt cessé de fournir le grisou emprisonné dans leurs parois et ne contiendront plus en elles-mêmes de causes spéciales d'infection, tandis que celles qui sont réservées au milieu de cette sorte d'éponge imprégnée de gaz d'une manière permanente, pourront se ressentir d'une manière plus directe des vicissitudes dues aux variations du baromètre.

On doit, autant que possible, dans l'institution de la méthode d'exploitation, s'attacher à ce que les parties abandonnées se trouvent en amont-pendage des quartiers en activité pour que le grisou ait moins de tendance à en sortir et à pénétrer dans les chantiers. Pour cette raison également il faut éviter d'avoir des étages trop élevés. Ils exigent un très grand nombre de tranches et quand on monte sur le remblai en les prenant dans l'ordre ascendant, on finit par laisser en contrebas une grande étendue de vieux travaux. Il peut arriver alors que la tombée du toit ou la chute d'une certaine quantité d'eau dans le puits détermine dans l'atmosphère une vague qui fasse sortir de ces régions des bouffées de mauvais air. Le grand accident de Oaks Colliery, le plus meurtrier qui ait jamais eu lieu, a été attribué à une influence de ce genre.

Pour une raison analogue il est bon de ne pas mettre trop d'étages en train à la fois. On pourra par exemple se contenter de deux, dont l'un se prépare pendant que l'autre est en pleine activité; ou au plus trois, dont l'un soit en traçage, l'autre en exploitation et le troisième en voie de terminaison. Parfois cependant le contraire se trouvera naturellement indiqué, suivant une remarque de M. Delafond, quand le traçage est de nature à assainir avant la période de dépilage un gîte éminemment grisouteux.

M. Delafond croit peu à l'utilité, qui a pourtant pour elle la majorité des opinions, d'éloigner les uns des autres

les foyers de production. Il pense que quand même la distance serait suffisante pour arrêter la flamme d'un coup de grisou et atténuer la violence de l'effet mécanique, le flot irrespirable n'en arrivera pas moins à porter partout l'asphyxie. Il insiste donc en faveur de la tendance à l'agglomération intensive, presque sans contre-poids. Par là en effet le courant d'air peut être plus fort, étant moins disséminé, et il est plus facile de ventiler une grande taille de vingt ouvriers que dix chantiers de deux ouvriers.

Cet ingénieur appuie également sur le danger des culs-de-sac aérés par diffusion. Il fait remarquer que le relevé de trente-quatre accidents survenus dans les bassins de Saône-et-Loire lui a montré que tous se sont produits dans des culs-de-sac. Il conviendrait donc de limiter, plus qu'on ne le fait d'ordinaire, l'étendue de ces ouvrages dans la méthode en travers. De plus, il ne faudrait pas hésiter, quand l'un d'eux commence à donner du gaz, à le munir d'une gaîne d'aérage empruntant l'air au courant général, quelque gêne qu'il en puisse d'ailleurs résulter pour l'exploitation.

Du reste, M. Delafond s'élève d'une manière générale contre la tendance à se retirer d'un quartier grisouteux en le barrant, dès qu'il devient menaçant. Il voudrait qu'au contraire on insistât alors de manière à l'assainir pour supprimer cette source d'infection, au lieu de lui laisser déverser à loisir son gaz dans le reste des travaux. Il peut y avoir un côté juste dans cette appréciation si on la restreint à une sage mesure, mais elle ne saurait évidemment passer à l'état de règle absolue. L'abandon complet et le barrage étanche restent nécessairement l'*ultima ratio* dans des cas excessifs.

M. Clermont voudrait voir développer davantage dans nos exploitations grisouteuses le principe des panneaux d'Angleterre. Il conçoit la tranche horizontale d'un gîte puissant comme attaquée à l'aide de deux costresses, l'une

dans le mur, l'autre dans le toit : la première pour l'arrivée, l'autre pour le départ de l'air. Des travers-bancs les relient aux divers grands rectangles ou panneaux dans lesquels on a divisé la tranche. Chaque panneau constitue un quartier spécial aéré par les deux travers-bancs, d'après le principe de la subdivision du courant.

M. Aguillon insiste, à un point de vue général, sur la nécessité de bien coordonner l'ensemble des travaux. Lorsqu'on s'éloigne avec méthode du plan incliné ou qu'on bat en retraite uniformément à partir des limites du champ d'exploitation, les accidents sont beaucoup moins à craindre que dans le cas où les parties vierges se trouvent entremêlées irrégulièrement de massifs déhouillés et remblayés ou éboulés, surtout si ces parties se trouvent en tranche inférieure.

78. — *Proposition de M. Tournaire.* — M. l'inspecteur général des mines Tournaire, dans une note adressée le 7 août 1877 à M. le ministre des travaux publics et imprimée dans le recueil des pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la Commission (1), a appelé l'attention sur des indications connues en Angleterre, mais qui ne sont pas pratiquées jusqu'ici en France. Il commence par insister sur les pertes subies par le courant à travers les portes, qui joignent mal les parois, laissent au-dessous d'elles un vide égal à la saillie des rails et restent souvent entrebaillées. Il en est de même en ce qui concerne les remblais, mal clavés au sommet, ou s'affaissant sur eux-mêmes sans être suivis quelquefois par un toit trop solide, ou enfin présentant une nature pierreuse qui laisse tamiser l'air. M. Tournaire en conclut avec raison qu'il devient alors difficile d'assainir les points trop éloignés du puits d'entrée suivant la di-

(1) Page 84.

rection de la couche, ou élevés dans l'amont-pendage de manière à concentrer le grisou.

Pour remédier à cet état de choses, l'auteur propose, dans les méthodes de dépilage, d'ajouter au traçage ordinaire une galerie de niveau, au sommet de l'étage, destinée à servir spécialement de retour d'air et distincte de la voie de service des remblais, dont elle resterait séparée par une simple planche de charbon. On pourrait au besoin la mettre dans une couche voisine s'il y a lieu, ou même au rocher. Les deux ouvrages s'aideraient mutuellement pour leur aérage pendant la période de percement au moyen de petites recoupes transversales. Ensuite, pendant le développement normal des travaux, le courant, après avoir parcouru les chantiers, reviendrait par ce chemin d'air spécial en laissant d'ailleurs la voie de circulation dans ses relations ordinaires avec le déhouillement. Le retour d'air se trouverait donc *en plein massif* sans parois de remblai ni portes mobiles. Il transmettrait ainsi, de la part du ventilateur aspirant placé sur le puits de sortie, un appel plus puissant sur les points critiques, vers lesquels on dirigerait d'ailleurs le courant suivant le mode ordinaire dans l'ensemble de la mine.

M. l'inspecteur général du Souich, en reconnaissant la justesse de ces vues, fait remarquer (1) qu'on gagnerait encore à diriger le courant principal par une galerie parallèle à la voie de fond, servant au roulage, comme nous avons dit qu'on le fait dans la méthode des grandes tailles, mais en la pratiquant en plein massif, comme le demande M. Tournaire, et non pas au moyen d'une cloison en remblai. On arriverait ainsi à diriger immédiatement le courant vers les avancements et les points dangereux; et il y arriverait plus pur que celui qui, appelé au moyen d'une succion exercée d'aval, tend à y parvenir à travers les

(1) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 89.

masses de remblais aussi bien que par les voies directes.

Ces propositions sont rationnelles et mériteront de fixer l'attention des exploitants.

79. — ***Assainissement des vieux travaux. Proposition Soulary.*** — Ordinairement on s'attache à isoler le plus possible les massifs de remblais ou d'éboulis. A Lalle, par exemple, M. Jouguet préserve ses vieux travaux de l'accès de l'air et les laisse se saturer d'acide carbonique. M. Schondorff penche au contraire pour maintenir une diffusion modérée du courant à travers les quartiers abandonnés, afin de les assainir dans une certaine mesure (1). M. Guibal est favorable à cette manière de voir. Des essais déjà anciens de canalisation du grisou au milieu des vieux travaux se trouvent d'ailleurs décrits dans le traité d'exploitation de Dunn (2). M. Nonne établit à cet égard une distinction (3). Si la pression du toit et le gonflement des soles tendent à comprimer de plus en plus les remblais dans un court délai, il conseille de les isoler de suite par un barrage étanche, chaque fois que l'on abandonne une communication quelconque. Dans le cas, au contraire, où les vides doivent rester ouverts à peu près indéfiniment, il penche pour laisser passer dans les vieux travaux un courant d'air faible mais continu (4). Cette distinction semble avoir une grande valeur.

Quoi que l'on puisse penser de ces propositions, il est une autre distinction qu'il ne paraît pas possible de ne pas considérer comme fondamentale, suivant que les vieux travaux seront ou non prédisposés à l'incendie. Il est clair

---

(1) Recherches sur l'aérage (*Journal de Carnall*, tome XXIV, page 73.

(2) *Mémoire de M. Coince sur sa mission en Angleterre*, page 25, note.

(3) *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen*, t. XX.

(4) *Annales des mines*, 7e série, tome IV, Mémoire de M. Voisin.

que, dans le premier cas, un accès d'air sur les menus abandonnés dans ces quartiers, trop faible pour les rafraîchir et suffisant pour y alimenter la fermentation, ne peut être qu'excessivement nuisible. Dans tous les cas, ce serait une grande erreur de considérer cette proposition comme contradictoire avec la recommandation formelle de serrer les remblais autant que possible. Les vides, même assainis, si tant est qu'on puisse y parvenir, n'en restent pas moins fâcheux, quoique leurs inconvénients soient alors diminués. En outre, pour obtenir un résultat de quelque valeur, on ne doit pas compter, pour former les canaux essentiels de cette circulation, sur les dédales inextricables de ces vides en les développant à dessein. Ces conduits doivent être ménagés systématiquement, en même temps qu'on réduit autant que possible les méandres qui subsistent dans la masse des remblais.

La question de l'assainissement des travaux abandonnés a d'ailleurs été traitée d'une manière remarquable par M. Soulary (1) dans un mémoire qui a fixé l'attention de la Commission.

Cet ingénieur propose le *drainage* des vieux travaux au moyen de conduits en pierres sèches ménagés au milieu des remblais à l'aide desquels on comble les voies de communication au fur et à mesure de leur abandon. On a soin de séparer l'ouverture de ces drains du champ de l'exploitation active par des corrois en terre glaise que l'on enlève ensuite pour les reporter plus loin lorsqu'on remblaye un nouveau segment de galerie, sauf un drain faisant suite au précédent. De cette manière, les massifs de remblais pourront déverser librement leur gaz dans ces conduits.

Si la nature du gîte ne prédispose pas à l'incendie, les drains se déversent eux-mêmes librement dans le retour d'air général. La quantité de gaz, qui est faible en général,

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome XI, page 241.

y serait toujours, avec les méthodes ordinaires, parvenue quelque jour et à l'état de flot pernicieux au lieu du suintement prolongé et de peu d'importance qui se produit ainsi.

Mais si au contraire on a des feux, leurs produits méphitiques et toxiques pourraient rendre à certains moments le retour d'air inabordable, et mettre par exemple dans l'impossibilité d'y exécuter une réparation urgente. En outre, cette libre communication pourrait amener des rentrées d'air pur sur les foyers dont elles redoubleraient l'activité. Pour ce cas spécial, M. Soulary propose de pratiquer dans la roche du mur pour chaque étage une maîtresse-voie de roulage. On y trouve déjà le moyen, pour le cas d'un incendie barrant les galeries de direction pratiquées dans la houille, d'assurer la communication entre toutes les parties de la mine. J'ai dit plus haut que cet avantage avait déjà provoqué l'emploi de ces ouvrages au rocher dans un certain nombre d'exploitations. En outre, l'aérage y sera toujours assuré et dans des conditions saines, même en retour d'air. En effet, on n'y déverse plus les drains. Ceux-ci, pratiqués dans les galeries de la houille même, quand on les remblaye, aboutissent à un tuyau collecteur qui traverse un barrage étanche destiné à protéger le puits, et s'élève verticalement jusqu'au jour. Mais ce n'est pas tout : au sommet de cette colonne, un chapeau, presque exactement équilibré, tient le tuyau fermé pendant les fortes pressions atmosphériques. Au moment d'une baisse du baromètre, le contre-poids l'emporte, l'orifice s'ouvre, et l'appel extérieur déverse dans l'atmosphère des torrents de mauvais air. Dès que la pression intérieure devient égale, le chapeau se referme en prévenant toute rentrée d'air extérieur qui serait de nature à alimenter les feux.

L'auteur a décrit pas à pas sa méthode en l'adaptant à tous les détails d'une exploitation théorique. Il serait im-

possible et d'ailleurs inutile de le suivre ici dans ces développements. On les trouvera dans le mémoire original où ils sont exposés d'une manière sobre et très claire (1).

Nous ne saurions cependant dissimuler quelques objections qui ont été opposées avec beaucoup de force à cette proposition. D'abord on peut lui reprocher l'excès même d'une de ses qualités, c'est d'être très systématique, et par là peu applicable d'une manière générale. Cependant il suffirait qu'un seul cas pût être traité ainsi avec avantage pour qu'elle méritât l'attention. Mais il est évident qu'elle perdrait beaucoup de sa valeur s'il était définitivement prouvé, comme nous en avons rapporté tant de témoignages (page 235), que les vieux travaux, loin de se remplir de grisou, finissent par s'en débarrasser presque complètement. La sortie des autres gaz moins dangereux que cette atmosphère explosible ne mériterait évidemment plus de pareilles complications. Du reste, l'objection la plus grave a été énoncée par M. l'ingénieur des mines Delafond. Elle consiste en ce que, d'après la peine que l'on éprouve à maintenir dans les remblais des galeries soignées et entretenues, il y a tout lieu de croire que les conduits proposés par M. Soulary s'oblitéreraient rapidement. Il suffirait d'un point sur lequel la charge viendrait à donner pour condamner complètement un conduit, quelle que fût du reste sa longueur. Le système perdrait alors son efficacité ; on n'en serait pas même averti, et l'on se trouverait placé par suite dans des conditions pires peut-être que le mode ordinaire.

---

(1) Ce travail, sur les conclusions du rapport de M. l'inspecteur général de Fourcy, a été l'objet d'un avis favorable émis par le Conseil général des mines, dans sa séance du 28 avril 1876.

(2) Instruction administrative sur les mesures de sûreté, 1872.

§ XV. — RÉGLEMENTATION.

80. — Pour lutter contre les dangers du grisou, la réglementation doit être considérée comme un puissant auxiliaire de l'organisation technique et mécanique de l'exploitation. A côté des mesures émanées de l'autorité publique se placent les règlements édictés par les compagnies elles-mêmes. Ces deux sortes de documents, inspirés par des points de vue un peu différents, se complètent l'un l'autre. Il s'en faut de beaucoup, d'ailleurs, que tous les exploitants redoutent de la part du pouvoir une ingérence plus grande que par le passé. Nous avons parfois rencontré dans les communications qui ont été adressées à la Commission, sans vouloir citer ici de noms propres, le désir de voir l'administration imprimer à la réglementation un caractère d'unité plus marqué et plus sévère. Loin de porter par là atteinte à la liberté de l'exploitant, on croyait plutôt alléger sa responsabilité en la définissant mieux, au lieu de le laisser en face d'une situation moins nettement formulée. On fait remarquer à cet égard qu'en Angleterre cette tendance, qui s'est substituée brusquement à une période précédente d'un état de choses tout différent, a été parfaitement acceptée dans ce pays si jaloux de sa liberté. Il est cependant juste de dire que des appréhensions précisément inverses se sont fait jour en même temps devant la Commission, et avec une grande insistance.

Entre ces deux tendances opposées, la Commission a cru devoir rester absolument neutre. Elle s'est attachée avec soin à conserver son véritable caractère, qui est celui d'un corps scientifique consacrant ses efforts à éclairer dans la mesure du possible l'administration aussi bien que l'exploitant dans la lutte contre l'ennemi commun : le grisou. Pour ce motif, elle a apporté une attention particulière dans la ré-

daction des *Principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou*, pour éviter que rien y prît la forme, même apparente, d'un règlement obligatoire. On lit, en effet, dans la circulaire qui accompagnait ce document lors de l'envoi qui en a été fait aux exploitants le 30 juin dernier : « N'ayant pas à faire un modèle de règlement que sa généralité même rendrait inapplicable dans son ensemble aux cas variés que présente l'exploitation des bassins houillers français si divers à tant d'égards, la Commission s'est proposé d'indiquer ce qu'il était bon de faire dans tous les cas qui peuvent se présenter, laissant chacun adopter sous sa responsabilité ce qui est compatible avec les conditions techniques et économiques des mines qu'il peut avoir à exploiter. »

81. — Toutefois, la Commission revendique l'initiative d'une mesure à laquelle elle attache une grande importance et qu'elle a formulée sous la forme d'un vœu adressé à M. le ministre des travaux publics. Cette disposition consiste dans une mise en demeure qui serait adressée par l'administration aux compagnies possédant des mines à grisou, de présenter dans un délai déterminé un projet de règlement intérieur préparé par elles-mêmes et spécial à chacune de ces exploitations. Ces règlements, après que l'entente se serait établie à leur sujet avec l'administration, seraient revêtus de l'homologation préfectorale, comme cela a eu lieu déjà d'ailleurs dans plusieurs localités. Ils se trouveraient par cela seul assimilés aux actes émanés de l'autorité publique. Souvent il est arrivé que les exploitants eux-mêmes ont désiré, pour donner plus de force, aux yeux de leurs ouvriers, aux prohibitions qu'ils avaient édictées, voir, dans certains cas graves, traduire les délinquants devant les tribunaux. Cette sanction, très difficile à obtenir (1) lorsque la contravention ne violait qu'un

(1) Plusieurs tribunaux sont cependant déjà entrés dans cette

règlement particulier, deviendrait au contraire toute simple dans ces nouvelles conditions. Cet état de choses n'impliquerait du reste nullement pour les directeurs l'obligation de se substituer au ministère public pour dénoncer et poursuivre toutes les infractions. Ce dernier conservant son initiative, dont il serait juge dans chaque cas, il serait simplement loisible aux exploitants de provoquer de leur côté son action, s'ils le jugeaient à propos.

82. — C'est en vue d'éclairer le plus possible ce côté de la question que la Commission a réuni, soit par elle-même, soit avec le concours de l'administration centrale ou par la voie diplomatique, le plus grand nombre possible de règlements de mines français et étrangers. M. l'inspecteur général du Souich en a publié un remarquable résumé, et c'est pour faciliter autant que possible la diffusion de ces notions qu'ont été rédigés les *Principes à observer dans l'exploitation des mines à grisou.* En dehors des mesures relatives à la direction des travaux, à l'aérage, à l'éclairage et au tirage à la poudre, dont on retrouverait la trace et les raisons d'être dans les chapitres correspondants du présent rapport, une division spéciale de ce document renferme les *prescriptions diverses* qui ne rentrent pas dans les quatre grandes catégories précédentes. J'en citerai donc ici quelques-unes comme exemple.

Un écriteau très visible doit porter en grosses lettres, comme avertissement, les mots *mine à grisou* à l'entrée de tous les quartiers dangereux. Si plusieurs types de lampes sont admis dans l'ensemble des travaux, un surveillant placé à l'entrée de chacun de ces quartiers n'y laissera pénétrer que celles qui sont autorisées pour cette région

---

voie de répression : arrêt de la cour de Lyon du 29 janvier 1872. — Jugement du tribunal de Béthune, du 14 février 1876. — Jugement du tribunal de Douai, du 25 mars 1876. — Voir l'instruction administrative de 1872 sur les mesures de sûreté.

spéciale. Si la circulation y devient décidément périlleuse, on ne se fiera pas à une interdiction morale telle que deux bois en croix, mais seulement à une fermeture effective et efficace.

Les tentatives pour ouvrir les lampes sont sévèrement réprimées, ainsi que le port des allumettes, des pipes ou du tabac. Si l'odeur de ce dernier est constatée dans un chantier, tous les ouvriers sont passibles de l'amende, à moins que le coupable ne se déclare.

Tout homme qui reconnaît une infraction actuelle de nature à compromettre la sécurité doit immédiatement la porter à la connaissance de ses chefs. Il ne s'agit pas par là, comme on n'a pas su l'éviter dans certains règlements étrangers, d'offrir une prime à la délation des personnes contre les personnes, pour des faits qui ne constitueraient plus un péril actuel; mais on ne doit omettre aucun des moyens de faire disparaître ce danger pendant tout le temps qu'il reste menaçant.

Il faut éviter de placer le mineur entre son intérêt et la prudence. Il est bon de lui accorder, comme on le fait à Bessèges, le prix de sa journée toutes les fois qu'il abandonne un chantier envahi par les gaz, à moins que cette circonstance ne soit due à sa propre faute ou que le maître mineur ait pu lui donner en temps utile une autre occupation.

On doit éviter également de jamais laisser aucune partie d'un règlement à l'état de lettre morte, car l'observance des prescriptions plus utiles se ressent toujours d'un tel laisser-aller. Pour cette raison, on peut admettre que certaines dispositions rigoureuses étant imposées pour des quartiers dangereux spécialement désignés, d'autres parties de la mine puissent être soustraites à ces entraves. De même, une mine à grisou qui sera restée un an sans donner dans son ensemble aucun indice de la présence de ce gaz pourra être déclassée de cette catégorie suspecte et débarrassée jusqu'à nouvel ordre de la réglementation gênante qui pesait sur elle à ce titre.

Il ne suffit pas, d'ailleurs, d'édicter de bons règlements, il faut ne négliger aucun moyen de les porter à la connaissance du personnel. En premier lieu, l'affichage en sera nécessaire sur les points de passage et surtout de stationnement des ouvriers. Mias, en outre, on devra remettre à chaque homme ce règlement sous la forme d'un carnet imprimé. Ajoutons que plusieurs chefs d'exploitation ont parfois pris la peine, dont on ne saurait trop les louer, de faire eux-mêmes des conférences à leurs ouvriers, tant pour leur faire bien comprendre l'esprit des mesures réglementaires que pour répandre parmi eux des notions simples et justes sur les propriétés du grisou et les moyens de se garantir des dangers qu'il présente.

§ XVI. — ÉCLAIRAGE.

83. — Le principal danger d'inflammation du gaz réside évidemment dans les moyens employés pour l'éclairage. Ils ont de tout temps fixé au plus haut degré l'attention des ingénieurs et mériteront toujours d'être l'objet des plus sérieuses réflexions. Cependant ce serait une grande erreur d'attendre uniquement du perfectionnement des lampes la solution du problème du grisou. En effet, une lampe, fût-elle parfaite, peut toujours cesser de l'être par une détérioration subite. De plus, nous avons reconnu d'autres causes d'inflammation, telles que les coups de mine, l'introduction des allumettes, etc.

Les moyens d'éclairage spéciaux aux mines à grisou, en y comprenant les plus surannés, se réduisent aux suivants :

1. — Rouet à silex.
2. — Lueur barométrique.
3. — Phosphorescence.
4. — Éclairage électrique.
5. — Canalisation.
6. — Lampes à treillis.

Rouet à silex. — Le rouet à silex, ou moulin d'acier (*steel-mill*), a été imaginé, dit-on, à Whitehaven en 1760. Il est fondé sur cette propriété que la simple incandescence de particules solides n'allume pas en général le grisou, et qu'une flamme gazeuse est pour cela nécessaire. L'appareil se compose d'une roue mise en mouvement par un manœuvre. Elle porte des briquets qui passent sur des silex, de manière à en dégager des gerbes d'étincelles. La clarté est naturellement irrégulière et insuffisante, et de plus la sécurité n'est pas complète. Le rouet à silex a, en effet, en 1825, provoqué à Hebburn une explosion qui a fait quatre victimes (1). M. Grand-Eury a signalé de son côté quelques exemples analogues.

Lueur barométrique. — M. Alvergnat a construit un instrument fondé sur la propriété que possède le mercure de répandre une certaine lueur quand on l'agite dans le vide barométrique. Un tube de verre recourbé renferme une certaine quantité de ce métal, que l'on fait passer alternativement d'une branche dans l'autre. Mais la fragilité de l'appareil, l'assujettissement qu'il impose et le peu d'intensité de la clarté obtenue ne permettent en aucune façon de considérer ce principe comme pratique.

84. — *Phosphorescence.* — On a essayé également des matières phosphorescentes, par exemple un mélange de farine et de chaux obtenue par la calcination d'écailles d'huîtres, qui portent le nom de phosphore de Canton (2). On a de même cité dernièrement la peinture Balmain, qui paraît avoir pour base le sulfure de calcium. On propose de recouvrir de cet enduit des planches qui seraient exposées à l'insolation, puis descendues dans les travaux. Elles

---

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XV, page 207.
(2) COMBES : *Traité d'exploitation des mines*, tome II, page 586.

répandent dans l'obscurité une lueur douce d'un rose violet qui persiste pendant plusieurs heures. Des bouées en mer recouvertes de cette peinture étaient visibles à 90 mètres de distance (1). Bien qu'il soit peu probable de voir jamais ces indications prendre aucune valeur pratique, on pourrait, dans cet ordre de recherches, consulter avec fruit les beaux travaux de M. Edmond Becquerel sur la phosphorescence et la fluorescence.

85. — *Éclairage électrique.* — La lumière électrique se présente naturellement à l'esprit dans la question de l'éclairage des mines à grisou. Elle a trouvé des partisans éminents, et M. Boussingault n'a pas cessé de lui apporter la grande autorité de son opinion (2). Cependant on reproche à ce moyen de présenter une trop grande intensité qui éblouit la vue et la rend incapable de rien discerner dans des ombres absolument noires. Or un chantier est toujours, quoi qu'on fasse, rempli d'anfractuosités de toutes sortes. En outre, l'assujettissement des appareils et des fils conducteurs paraît aux exploitants inconciliable avec les nécessités du service. D'ailleurs, un système de feux fixes, quoique souvent employé comme un auxiliaire utile, ne saurait dispenser de la lampe portative, mise à la disposition de chaque homme. Elle lui est en effet indispensable pour fouiller tous les recoins, établir ses boisages, étudier la solidité du toit, éviter les vides du remblai, etc. Les nouveaux perfectionnements apportés à l'éclairage électrique, notamment ceux que l'on doit à MM. Denayrouze, Jabloschkoff, Edison, Jamin, Reynier (3), etc., permet-

(1) Conférence de M. Heaton, faite le 11 mars 1880 à la Société des arts de Londres. — *Les Mondes*, tome LII, page 44.

(2) *Journal officiel* du 26 février 1876, page 1407.

(3) Les appareils de ce dernier ont fonctionné sous les yeux de la Commission, entre les mains de leur inventeur, dans la séance du 26 mars 1879.

tront-ils d'atténuer la valeur de ces objections? Il peut être permis d'en conserver l'espoir, tout en leur laissant toute leur force pour le moment actuel, et suivant toute probabilité pour longtemps encore (1).

Il est cependant nécessaire de mentionner à ce propos le secours très utile que procure l'électricité dans la lampe portative Dumas et Benoit. La lueur est fournie par une sorte de tube étincelant de Geisler. L'appareil électrique, formé d'un élément de Bunsen et d'une bobine de Ruhmkorpf, est placé dans une giberne qu'une ceinture permet de fixer autour du corps (2). Cet appareil, trop fragile pour le service courant, est employé dans les sauvetages lorsqu'il s'agit de pénétrer dans des milieux irrespirables et par suite impropres à la combustion (3).

Une proposition de M. Thénard mérite de fixer l'attention. Elle consiste, lorsque l'on fonce un puits dans un milieu grisouteux, à installer à la surface un appareil de lumière électrique dont on enverrait un rayon puissant au fond du puits à l'aide de réflecteurs convenablement disposés. Dans ces conditions, en effet, on ne saurait plus redouter ni les anfractuosités des chantiers ordinaires ni les inconvénients des fils conducteurs.

Des facilités analogues se rencontrent dans les exploita-

---

(1) On peut consulter notamment sur ce sujet les sources suivantes : REYNIER, *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 70.— *Comptes rendus mensuels*, septembre 1878, page 186, et juin 1880, page 132. — *Les Mondes*, tome LI, page 871. — *Journal des mines*, 1878, page 724. — DU MONCEL : *L'Éclairage électrique.* — IMBERT : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VIII, page 353.

(2) *Annales des mines*, 6ᵉ série, tome IV, page 456. — *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, tome LV, page 439. — Supplément du *Traité d'exploitation*, de PONSON, page 460.

(3) Nous verrons, du reste, qu'il n'est pas le seul moyen d'éclairage pour ce cas particulier, et que quelques-uns des appareils de sauvetage sont disposés de manière à alimenter la lampe en même temps que la respiration.

tions par grandes chambres souterraines. C'est ainsi qu'une mine de sel du comté de Chester est éclairée à la lumière électrique (1). On a réussi de même pour les ardoisières d'Angers (2). Dans leurs grands espaces de 2.000 à 3.000 mètres carrés, que la roche recouvre en forme de voûte surmontée, la lumière des lampes était tout à fait impuissante à percer une pareille hauteur. Déjà l'éclairage au gaz avait réussi à répandre une lueur générale un peu diffuse, mais suffisante cependant pour laisser apercevoir le plafond, en diminuant ce sentiment naturel d'appréhension qu'inspire le danger inconnu. La persévérance de M. Blavier a réussi à y établir pratiquement l'éclairage électrique, bien supérieur au gaz sous le rapport de la clarté et de la fixité. Cette lumière ne risque pas de s'éteindre par les coups de mines et ne donne ni fumées ni gaz délétères. On emploie des appareils de Gramme construits par MM. Lemonnier et Sautter. Avec une mise de fonds spéciale d'environ 4.500 francs pour deux machines Gramme, trois lampes Serrin, dont une de rechange et une boîte d'accessoires, on éclaire une chambre d'environ 2.000 mètres carrés. En ajoutant à ce chiffre un moteur à vapeur de 10.000 francs et quatre conducteurs en cuivre de 350 mètres pesant 700 kilog. et coûtant de 2.000 à 2.500 francs, on peut estimer la mise de fonds totale, pour les deux lampes, à 16.000 ou 17.000 francs. La machine à vapeur marche pendant vingt-deux heures par jour, et l'éclairage n'est suspendu que pendant deux heures pour l'entretien des appareils. Si on ajoute les frais journaliers avec l'amortissement du capital précédent, l'éclairage ne ressort pas à plus de 50 francs, tandis que le gaz coûtait 54 francs dans les mêmes conditions. On estime l'intensité

(1) *Journal des mines* 1879, page 100.
(2) Blavier : *Annales des mines*, 7[e] série, tome XVII, pages 9 à 20.

de chacune des lampes à celle de 300 becs Carcel. La dépense d'un bec par heure revient ainsi à 0f,0037. Avec le gaz, elle serait de 0f,034. Il est, du reste, bien évident que l'économie qui résulte de la comparaison de ces chiffres perdrait toute sa valeur si l'on opérait sur des espaces sensiblement moindres.

86. — *Canalisation.* — M. Boullenot (1), et depuis lui M. Turquan, M. Rolland Banès et M. Judicky, ont proposé une canalisation générale qui enverrait l'air comprimé dans des globes de verre, de la même manière que l'on distribue le gaz dans les villes. Des lampes fixes brûlent dans ces globes, et on supprime les lampes portatives. M. Boullenot laisse même ses globes ouverts avec une obturation partielle due à des toiles métalliques.

Mais ce principe ne peut soutenir l'examen. Nous venons de dire, en effet, que la lampe portative est absolument indispensable. De plus, en ce qui concerne la sécurité, les globes de M. Boullenot seraient aussi faciles à briser que les lampes ordinaires, et sans doute aussi aisés à ouvrir contrairement aux règlements. Leur allumage, leur nettoyage, établiraient momentanément, à moins de bien grandes complications, les relations avec l'atmosphère de la mine, que l'auteur a voulu supprimer. La canalisation dans un sol mouvant et avec un réseau incessamment modifié entraînerait un assujettissement intolérable. Enfin des frais importants seraient la conséquence de ce système (2).

M. Tournaire a fait remarquer que le principe de l'envoi de l'air au moyen de tuyaux dans une enceinte séparée de l'atmosphère de la mine est déjà appliqué, quoique

---

(1) *La Nature*, par Gaston TISSANDIER, 1877, page 362. — DELACE : *Pièces annexées aux procès-verbaux*, p. 47.

(2) Avis de la Commission du 26 mars 1879.

dans une mesure très étroite et la seule acceptable pratiquement : c'est dans les appareils qui permettent de respirer et d'alimenter une lampe dans les milieux impropres par eux-mêmes à l'une et l'autre fonction.

87. — *Lampes à treillis.* — La seule solution considérée aujourd'hui comme pratique pour l'éclairage des mines à grisou est la lampe à treillis métallique, fondée sur la mémorable découverte faite en 1815 par Davy (1). Elle est basée sur le refroidissement qu'une toile métallique (2), suffisamment serrée, apporte aux gaz chauds en ignition. Ce refroidissement est tel que la flamme ne peut traverser la toile. Si donc on environne le porte-mèche d'un tube en treillis fermé par un toit semblable, la combustion du mélange détonant n'aura lieu qu'à l'intérieur du tamis, et la flamme ne pourra se propager à l'extérieur. Si la teneur en grisou est telle que le feu remplisse tout le tamis, celui-ci s'échauffe, rougit, et on ne peut plus en attendre la même action préservatrice. Cependant la lampe ne transmet pas la flamme au dehors sans l'intervention d'un courant d'air. Seulement elle cède alors bien plus rapidement à cette action étrangère (3). Soumise d'un côté à la température de combustion, et de l'autre à la température ambiante, la toile prend rapidement un état thermique permanent et qui est tel, si la lampe est bien construite, que la température à laquelle les fils sont portés reste inférieure à celle d'inflammation du mélange extérieur. Cette dernière

(1) La priorité en est, du reste, disputée en Angleterre entre sir H. Davy, le docteur Reid Clanny et Georges Stephenson (*Revue universelle*, de Cuyper, 1er volume de 1877, page 125).

(2) De fer ou de cuivre. On a essayé aussi le fer étamé ou même l'aluminium. Mais ce dernier fond parfois, sous ce petit diamètre, à la température de combustion du gaz (*Transactions of the North*, etc., tome XI, page 178).

(3) Mallard : *Pièces annexées aux procès-verbaux*, pages 48 et 51.

est en effet très élevée, et un fer rouge ne suffit pas à provoquer cette inflammation ; seulement on peut alors craindre que la toile ne se brûle et ne se détruise, que des poussières huileuses collées au tamis venant à s'enflammer quand le métal se trouve porté au rouge, ne provoquent l'explosion de l'atmosphère extérieure, ou encore que le culot de la lampe n'arrive à se dessouder.

88. — *Influence de la vitesse.* — Il faut toujours, sous peine de perdre l'utilité de la toile, éviter qu'un courant d'air trop violent ne rejette mécaniquement la flamme hors du treillis sans lui donner le temps nécessaire pour se refroidir. Aussi doit-on éviter avec soin de balancer sa lampe, de manière à ce que la vitesse de ce mouvement pendulaire s'ajoute à celle de la marche et de la ventilation, ou de suspendre des lampes au collier des chevaux qui les secouent. Il faut s'abstenir avec la même rigueur d'agiter des vêtements dans le voisinage des lampes et éloigner autant que possible ces dernières du front de taille au moment de l'abatage, à cause du coup de vent qui en est la conséquence. Les expériences d'Eppleton ont fait détoner des lampes Mueseler pour une vitesse de 2m,40 par seconde, des lampes de Clanny et de Stephenson à 2m,70 (1). Une autre série d'essais a eu lieu à Hetton (2). M. Bammbridge estime qu'aucune lampe ne donne une sécurité véritable si elle subit, même pendant un temps très court, le contact d'une vitesse de 3m,60 par seconde. Pour ce motif, il dispose son appareil de manière à n'avoir que des toiles horizontales et aucune partie verticale à jour (3). Le même auteur a fait une série d'expériences comparatives sur divers types de lampes pour savoir pendant combien de temps elles ré-

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XVII, page 17.
(2) *Ibidem*, page 39.
(3) *Ibidem*, tome XXIII, page 15.

sistent à des vitesses données avant de faire explosion. Une Commission anglaise, chargée d'examiner la lampe Morison, a indiqué comme vitesse dangereuse celle de $2^m,15$ par seconde (1). La Commission belge instituée par arrêté royal du 20 janvier 1868, a de son côté, étudié avec soin cette importante question (2). Enfin une Commission d'ingénieurs a été constituée à Saint-Étienne pour cette étude par la société d'industrie minérale. Elle a constaté notamment que le degré du danger dépend de la composition du grisou. Les résultats obtenus par M. Mallard au nom de cette Commission (3) ont montré que l'explosion peut avoir lieu dans l'hydrogène protocarboné pour des vitesses comprises entre $2^m,40$ et $3^m,40$, tandis que $1^m,20$ à $1^m,70$ suffisaient avec une atmosphère imprégnée de gaz de l'éclairage. La même circonstance s'est présentée dans une houillère de la principauté de Schaumbourg (4) où la présence de l'hydrogène bicarboné a forcé à employer un tissu bien plus serré qu'ailleurs.

Ces expériences viennent d'être reprises à la demande de la Commission du grisou, par MM. Mallard et Le Châtelier, et il en sera rendu compte ultérieurement avec détails. Je me borne ici à dire que la lampe Davy a été traversée immédiatement pour une vitesse de $3^m,80$, et au bout de quelques secondes, pour $1^m,83$. La lampe Mueseler s'éteint, mais si on la prive de son cône en la transformant en quelque sorte en une lampe Boty, elle est encore traversée pour la vitesse de $1^m,83$ (5).

(1) *Annales des mines*, 6ᵉ série, tome XII, page 567, et 7ᵉ série, tome VII, page 355. — ARNOULT : *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXVI, page 5.

(2) *Annales des travaux publics de Belgique*, tome XXXI, pages 506 et 517.

(3) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1ʳᵉ série, tome XIII, page 723.

(4) COMBES : *Traité d'exploitation*, tome II, pages 307 et 503.

(5) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 64.

M. Galloway a cherché expérimentalement si le passage d'une onde sonore telle que celle qui est produite par le bruit d'un coup de mine, par exemple, peut faire sortir la flamme. Il en a acquis la conviction pour des bruits violents (1). M. Greenwell n'admet pas la possibilité de ce fait (2).

89. — *Enveloppes de verre.* — L'effet inévitable du treillis est une très grande déperdition de lumière. Le calcul du rapport du plein au vide dans les toiles usuelles montre que l'on perd théoriquement 60 p. 100 de la clarté avec le tamis de cuivre, et 80 p. 100 avec le fer. Une expérience directe faite à Bessèges a indiqué à M. Murgue une perte de 72 p. 100. M. du Mesnil, pour remédier à cet inconvénient, introduisit en 1838 l'usage de ne faire régner le treillis que sur une partie de la hauteur, en formant le reste d'un tube de verre à la hauteur de la flamme pour en transmettre directement l'éclairage. MM. Bay et This viennent également de proposer un fond de verre horizontal pour éclairer de haut en bas, sans pencher l'appareil, les plans que l'on consulte dans l'intérieur des travaux. Enfin on a adapté à certaines lampes des lentilles qui concentrent une plus grande quantité de lumière dans certaines directions. On a parfois, en outre, par exemple à Anzin dans la galerie de traction mécanique, blanchi les parois à la chaux pour mieux utiliser la lueur des lampes.

Le grand avantage des enveloppes de cristal se trouve contre-balancé par le danger de leur rupture par un choc, la chute de la lampe, celle d'une goutte d'eau froide sur un verre chaud, particulièrement dans les fonçages, question,

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VI, page 836.

(2) *Annales des mines*, 7e série, tome XII, page 221. — *Proceedings of the Royal Society*, 1874, n° 154. — *Transactions of the North*, etc., 1875, page 63.

(3) *Transactions of the North*, etc., tome XXIV, page 168.

du reste, sur la valeur de laquelle les opinions sont divisées, ce qui s'explique tout naturellement par le degré variable de pluie qu'ont pu rencontrer les ingénieurs qui les formulent. Roberts, ancien ouvrier mineur, qui avait déjà introduit bien avant M. du Mesnil les enveloppes de verre, maintenait un treillis à l'intérieur pour le cas d'une rupture, ne demandant au verre qu'une sécurité de plus contre la sortie de la flamme, mais renonçant par là au bénéfice de la clarté. On a employé de même dans la lampe Morison deux enveloppes de verre concentriques. M. Thénard propose également d'ajouter un cylindre de mica à un certain nombre de lampes destinées à des points particulièrement aquifères. M. Thénard recommande de même le verre de Bohême, et M. Le Châtelier ceux qui renferment le moins possible d'alcalis. Notons enfin qu'il est désirable que l'on obtienne l'étanchéité du joint autrement qu'en limant le bord du verre, ce qui le rend aigre et cassant.

On avait fondé un instant quelques espérances sur l'emploi du verre trempé de M. Labastie. M. Guenyvet annonce, en effet (1), que la résistance au choc devient cinquante fois plus considérable par la trempe. Le résultat serait même, dit-on, encore plus remarquable en ce qui concerne les variations brusques de température. Malheureusement de nombreuses observations sont venues montrer que ce verre participe, dans une certaine mesure, à la propriété des larmes bataviques, et qu'on le voit tout à coup tomber en poussière (2).

Il ne faut pas, du reste, s'exagérer l'importance des effets de la rupture des verres ordinaires. Des essais directs faits devant la Commission par M. Mallard, ont montré

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., octobre 1876, page 9; et novembre 1876, page 13. — Notice de M. Bourée, dans le *Bulletin de l'association des anciens élèves de l'École centrale*.

(2) Professeur Ricard, dans la *Bohemia*. — *Les Mondes*, t. XLVI, page 47; et tome XLVII, page 178.

que s'ils se fendent assez facilement à chaud par le contact de l'eau froide, les morceaux restent jointifs, et par suite les fêlures trop capillaires pour permettre le passage de la flamme. Il est bien entendu cependant que tout verre fêlé doit être immédiatement remplacé à la lampisterie. D'ailleurs, tous les morceaux se détachent les uns des autres au moment où on démonte la lampe pour la recharger d'huile.

90. — *Cheminée.* — Outre le tamis et l'enveloppe de verre, je dois citer un troisième organe essentiel introduit par M. Mueseler. C'est une cheminée intérieure en métal dont le but est de forcer l'air entré à travers les mailles du tamis qui règne au-dessus de l'enveloppe de verre à descendre jusque sur la flamme, afin d'alimenter la combustion, pour remonter ensuite dans la cheminée en raison du tirage qui s'y établit. Un diaphragme en toile métallique se trouve, en outre, pour plus de sûreté, placé sur son passage à la base du treillis autour de la cheminée. Le joint qui unit ce diaphragme à la cheminée doit être particulièrement soigné. Le système devient ainsi beaucoup moins sensible aux courants d'air qui tendent dans la lampe ordinaire de Davy à faire sortir la flamme par un déplacement brusque.

De plus, l'appareil avertit lui-même de la présence du grisou en s'éteignant et supprimant ainsi le danger quand il vient à naître. Cela tient à ce que, dans ce cas, la flamme commençant par s'épanouir, la cheminée ne peut plus débiter tous les gaz brûlés qui dès lors encombrent les abords de la mèche, empêchent l'arrivée de l'oxygène et arrêtent la combustion. Cependant M. Arnoult a observé que cette stagnation des gaz peut être compensée par une certaine vitesse du courant qui empêche la lampe Mueseler de s'éteindre(1). On ne peut donc se fier entièrement à ce symptôme.

---

(1) Arnoult : *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XXVI, page 27.

Cette facilité d'extinction existe également pour deux autres cas qui ne constituent alors qu'un inconvénient sans aucun avantage. C'est d'abord lorsqu'on incline la lampe(1); attendu que le tirage de la cheminée ne se fait plus alors en raison de sa longueur, mais seulement de la projection de celle-ci sur la verticale; il devient par là insuffisant pour éviter l'encombrement des gaz brûlés. De là un grand obstacle à l'emploi de cette lampe pour les galeries inclinées où se pratique le traînage dans le bassin du Gard. C'est, en second lieu, pour un mouvement plongeant trop rapide, comme lorsqu'on pose brusquement la lampe à terre ou que l'on descend vivement les échelles. En effet, l'air n'arrivant sur la mèche qu'en raison de son mouvement relatif aux parois, si celles-ci prennent subitement un mouvement propre d'entraînement, la vitesse relative peut être réduite à rien et l'oxygène ne plus atteindre l'huile.

En vue de l'extinction des lampes on installe, dans un air pur, en se rapprochant pour cela autant qu'il sera nécessaire du pied du puits d'entrée d'air, des stations de rallumage dans lesquelles un préposé spécial est muni d'une clef pour procéder à l'ouverture des lampes et les rallumer à un feu nu. Parfois, au lieu d'un employé, on laisse seulement la clef suspendue à une chaînette à la disposition de chacun; mais le premier mode est préférable.

91. — *Lampes diverses.* — A ces trois organes essentiels : le tamis, le verre et la cheminée, il faut encore ajouter l'armature extérieure destinée à préserver la lampe contre les chocs, la mouchette qui permet d'agir de l'extérieur sur la mèche, et d'autres détails très nécessaires, mais que je puis m'abstenir d'énumérer ici. Leurs divers modes d'agence-

---

(1) L'étude de cette question a été faite par MM. Mallard et Le Châtelier (Pièces annexées, etc., p. 148).

ment ont donné lieu à une foule innombrable de dispositions diverses, c'est-à-dire à autant de lampes de sûreté dont la description serait absolument fastidieuse. Je citerai par exemple les lampes Aillot, Armatole, Arnould, Baimbridge, Bay et This, Bichon, Billot, Boty, Boulanger, Boullenot-autoxyde, Briams, Cavenaille, Chave, Chuard, Ciccbanowich, Clanny, Clauzet, Combes, Craig et Bidder, Cuvelier, Daglish et Flood, Dalverny et Raimond, Davy, Deleuil, Demanet, Denayrouze, Dernoncourt, Dinant, Dougald-Ballardy, Dubrulle, Du Mesnil, Eloin, Frot, Fyfe, Glover et Cail, Godin, Goebel, Goffin, Grousset, Guérineau, Hann, Harmegnies, Herold, Hewiston, Higg, Hislaire, Joassin, Jormar et Dulière, Landau, Ledieu, Lermusiaux, Luidsay, Mackworth, Marka, Martin, Morison, Mozard, Mueseler, Newmann, Olagnier, Olomer, Parish, Pelton, Pritson et Bell, Rocour, Rolland-Banès, Rolland et Catelan, Ros, Rosius, Saint-Hilaire, Schwob, Sharp et Ioung, Smith, Souheur, Stephenson (ou Geordy), Struve, Teale-protector, Thonard, Thornton et Sens, Truchot, Upton-Roberts, Villiers, Watson, Wilkins, etc.

Un grand nombre de ces appareils sont aujourd'hui relégués dans un oubli complet. On regarde en France, comme les meilleures, la lampe Mueseler et la lampe Dubrulle. On emploie aussi parfois la lampe Boty et trop souvent encore la lampe Davy, que la majorité de la Commission réprouve absolument, malgré bien des résistances, comme n'offrant nullement les conditions de sécurité que l'on est en droit d'attendre aujourd'hui de l'état actuel de nos connaissances. Tout au plus pourrait-on tolérer ces deux dernières pour les galeries de roulage, dans un air relativement pur, avec interdiction de pénétrer dans les dépendances directes des chantiers; et même il est bien à craindre qu'il en résulte, dans la pratique, de grands inconvénients. La lampe Mueseler est obligatoire d'après la réglementation belge. L'arrêté royal du 17 juin 1876 en détermine le type, complétant celui du 29 avril 1864, qui

avait seulement édicté l'obligation (1). Sans aller aussi loin, l'administration française n'a pas craint de signaler les avantages de la lampe Mueseler dans l'instruction de 1872 relative aux mesures de sûreté.

Dans les études qu'ils ont entreprises pour la Commission, MM. Mallard et Le Châtelier sont arrivés à constituer une nouvelle lampe qui, bien qu'encore provisoire dans leur pensée, donne déjà de bons résultats. L'air arrive par le haut du cylindre de verre comme dans la lampe Mueseler, et en même temps par sa partie inférieure comme dans le système Upton-Roberts. La cheminée centrale a sa base un peu plus élevée au-dessus de la flamme que dans le type Mueseler. Le sommet de cette cheminée est très aplati, de manière à opposer un obstacle à la sortie de la flamme. Dans ces conditions, l'extinction est rendue plus difficile. On peut agiter la lampe et l'incliner impunément. Elle a été soumise à des courants d'air de 4 mètres par seconde sans laisser sortir la flamme. Elle semble, par suite, présenter un degré supérieur de sécurité.

92. — *Fermeture.* — L'un des points qui, avec raison, préoccupent le plus les constructeurs, est le mode de fermeture. Il doit être, d'une part, très commode pour les lampistes, et de l'autre, impraticable pour les piqueurs auxquels on remet leurs lampes pleines, allumées et fermées. Mais l'obstination fatale et trop habile de ces derniers parvient presque toujours, au bout de peu de temps, à déjouer tous les efforts faits pour leur préservation. On ne saurait trop, sous ce rapport, se pénétrer de la nécessité d'entretenir les ouvriers dans une crainte salutaire des dangers du grisou, au lieu de les laisser s'endormir dans une inertie funeste. Ce principe est considéré comme fondamental par la compagnie de Bessèges.

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, page 877.

M. Villiers, directeur des houillères de Saint-Étienne, a employé pour ses fermetures des pistons de fer doux à ressort noyés dans le corps de la lampe et empêchant son dévissage, à moins qu'on les extraie, non avec les doigts ni aucun instrument, ce qui paraît impossible, mais à l'aide de forts électro-aimants mis en jeu par le lampiste à l'aide d'une pédale et d'une machine de Gramme. M. Aillot a imaginé une vis de 1.200 tours destinée à lasser la patience de l'ouvrier, tandis qu'une répétition d'engrenages en vient rapidement à bout à la lampisterie. La lampe Dinan est soudée à chaque fois. Une heure suffit pour en fermer près d'une centaine. Les lampistes les rouvrent rapidement avec un fer rouge (1). M. Armatole propose un cadenas à lettres (2). Certains systèmes, par exemple la lampe protector de M. Teale (3), sont combinés de telle sorte que la seule ouverture de la lampe suffit pour l'éteindre. On cherche encore une garantie dans une forte amende et dans la sanction pénale (4).

92. — *Lampisterie.* — Les lampistes ont le devoir d'avertir des tentatives d'ouverture qui ont laissé des traces. Leur attention doit en outre s'exercer minutieusement sur les tamis pour constater qu'il n'y a pas de fils coupés ni de déchirures propres à laisser passer la flamme. Une seule maille brisée doit faire rebuter le tamis. On pourrait même avoir un surveillant spécial de l'état des treillis de sûreté. On les nettoie périodiquement avec des lessives alcalines, des essoreuses et des brosses mécaniques pour raviver les surfaces métalliques des fils et par suite leur conductibilité

(1) *Revue universelle*, de CUYPER, 1er volume de 1877, page 127.
(2) *Compte rendu mensuel*, etc., juillet 1876, page 14.
(3) *Proceedings of the South Wales Institute of Engineers*, t. X, page 239.
(4) Arrêt du 29 janvier 1872, prononçant une peine pour une simple tentative d'ouverture de lampe, par application des articles 31 du décret du 3 janvier 1813 et 96 de la loi du 21 avril 1810.

protectrice. En même temps, on les débarrasse ainsi des poussières qui obstruent les vides et de l'huile qui pourrait s'enflammer. MM. Parent et Dernoncourt ont introduit ce procédé à Anzin, d'où il s'est répandu dans les autres exploitations.

M. Boussingault a imaginé une méthode de contrôle qui doit être signalée à l'attention (1). Elle consiste à placer la lampe allumée au milieu d'un cylindre plein de vapeur de pétrole. Si, par un vice quelconque, elle est capable de déterminer une explosion, celle-ci aura lieu de suite, dans des conditions prévues et peu dangereuses, au lieu de provoquer une catastrophe souterraine.

Jamais une lampe ne doit rester dans le chantier, même lorsque les hommes ne le quittent que momentanément. Le grisou pourrait en effet l'envahir en leur absence, faire rougir le tamis et déterminer l'explosion sous l'influence d'un courant d'air. La lampe forme d'elle-même, par son absence de la lampisterie, le signe matériel de la présence de l'ouvrier dans le fond. Chaque homme a la sienne dont il est responsable. Elle porte un numéro spécial et se place dans la case correspondante. M. Lévy, directeur des houillères de Sarre-et-Moselle, a fait connaître une organisation très attentive de lampisterie au point de vue du contrôle de la présence des ouvriers. Chaque lampe porte un numéro d'ordre à la fois sur le réservoir et sur une des pièces de la cheminée. Le même numéro est frappé sur une fiche métallique et figure en outre sur un tableau fixé au mur et portant des crochets de suspension. A chaque ouvrier est affecté un de ces numéros dont on tient avec le plus grand soin un registre spécial. Indépendamment de ces lampes et fiches d'ouvriers, il en existe une série impersonnelle non plus *numérotée* mais *alphabétique* destinée à remplacer les premières pendant

(1) *Journal officiel* du 26 février 1876, page 1408.

les réparations. Celles-ci sont en temps ordinaire accrochées à leur place sur un tableau spécial ; mais quand un ouvrier se trouve sans lampe, on lui en remet une de la seconde série en accrochant à son numéro la fiche alphabétique et reportant sa fiche numérotée au crochet alphabétique. De cette manière, les fiches du tableau normal indiquent avec certitude la présence des hommes dans le fond, tandis que le système de la simple absence de la lampe exige, en raison de la possibilité d'une réparation, des vérifications ultérieures, qui prennent du temps et sont sujettes à erreur dans le trouble d'un accident.

Le maître mineur doit faire, en ce qui concerne les lampes de sûreté, l'éducation des nouvelles recrues. Il leur signale les inconvénients de la vitesse, lesquels seront d'autant plus redoutables que la flamme sera plus dilatée par la présence du grisou. Il faut tenir les feux bas dans les chantiers, porter la lampe à la longueur du bras en marchant, et sans l'agiter, l'accrocher assez solidement aux parois pour qu'elle ne puisse tomber, baisser la mèche dès que la flamme marque, la noyer dans l'huile si elle tend à remplir le tamis, ou l'éteindre avec de l'eau, ou enfin en l'étouffant sous les vêtements en la privant d'air. Mais sous aucun prétexte on ne doit souffler pour l'éteindre, comme un instinct mal inspiré pourrait porter à le faire. Les hommes se retirent à tâtons avec calme et en bon ordre (1). Si la teneur en grisou est telle qu'elle provoque une gêne de la respiration, ils se courberont, ils chercheront au besoin jusqu'à terre les couches les plus pures.

---

(1) On a proposé une lampe renfermant des fils de platine qui, une fois rougis par la flamme, continueraient, dit-on, après son extinction, à provoquer une combustion lente du grisou, accompagnée d'une certaine lueur.

§ XVII. — MOYENS DE RECONNAITRE LA PRÉSENCE DU GRISOU.

94. — *Indications des lampes.* — Le moyen le plus pratique d'investigation est la lampe de sûreté. En baissant la mèche à 3 millimètres et cachant avec le doigt le corps de la flamme, on voit apparaître autour de cette dernière une auréole bleue dont nous avons parlé avec détails. Les apparences présentées par la lampe Mueseler ont été formulées avec beaucoup de précision par M. l'ingénieur en chef des mines Mallard, rapporteur de la Commission de Saint-Étienne (1). « Lorsqu'il y a $0^{vol.}$,067 de grisou pour un volume de mélange, la flamme diminue un peu d'éclat et s'entoure d'une auréole blanchâtre très peu visible. Avec 0,083, la flamme diminue beaucoup de hauteur et d'éclat, la partie obscure inférieure prend un grand développement, la partie supérieure devient un peu fuligineuse et s'environne d'une auréole blanchâtre bien visible. Une extinction presque complète de cette flamme a lieu périodiquement, laissant voir alors un cône renversé de flamme bleuâtre, qui s'appuie en bas sur la mèche et en haut sur l'ouverture évasée du cône métallique. Pour 0,091, les mêmes phénomènes se reproduisent; mais le temps qui sépare deux demi-extinctions devient plus court. Avec 0,100, une flamme bleuâtre s'élève jusqu'à l'anneau de toile et tout s'éteint. A 0,111, les oscillations de la flamme reprennent de nouveau, leur période est très courte, la flamme, même à son maximum, s'élève à peine d'une manière sensible. Il n'y a pas extinction. Avec 0,125, la flamme se propage jusqu'à l'anneau de toile, et il y a extinction complète. »

(1) *Annales des mines*, 7e série, tome XII, page 378.

Malheureusement, la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique peut masquer les indications des lampes (1). En second lieu, nous avons vu qu'elles ne marquent pas dans certains milieux inexplosibles par eux-mêmes et dont la présence des poussières peut cependant surexciter l'inflammabilité. De plus, il existe au plafond une zône de 20 centimètres environ, dans laquelle une lampe pénètre difficilement, surtout celles qu'on ne peut incliner. Et c'est précisément la partie la plus dangereuse, d'après la tendance du grisou à s'élever en raison de sa densité. Enfin on ne doit jamais perdre de vue que les teneurs en grisou qui ne s'observent pas à la lampe sont tellement rapprochées de celles qui produisent un danger imminent, qu'une cause souvent légère peut faire passer en peu de temps de la sécurité à une catastrophe. Aussi ne peut-on que souligner cette formule de prudence : « Dans toute mine reconnue « capable de dégager du grisou, une explosion est toujours « à redouter, même quand on ne peut constater par les « moyens ordinaires la présence actuelle du gaz (2). »

95. — Pour faciliter l'examen à la lampe, M. Steavenson conseille (3) d'y adapter un verre bleu-foncé (pot-opal ou bleu de cobalt) qui rend plus blanche la partie jaune de la flamme et plus net le chapeau bleuâtre formé par le grisou.

A cet égard, M. Fouqué, secrétaire de la Commission, a constaté que le verre bleu de cobalt éteint complètement la flamme jaune de la soude, mais laisse voir la flamme bleue de la potasse. Il pense, d'après cela, que celle du grisou doit disparaître, mais que, s'il y a des poussières en combustion qui renferment de la potasse, la flamme sera perceptible.

---

(1) GONTHIER : *Compte rendu mensuel*, etc., décembre 1877, page 6.

(2) MALLARD : *Annales des mines*, 7e série, tome VII.

(3) *Écho des mines*, 1877, page 324. — *Transactions of the North*, etc., tome XXVI, page 135.

MM. Delon frères ont proposé de masquer avec un système d'écrans le corps de la flamme pour laisser plus perceptible l'auréole bleue due au grisou. MM. Mallard et Le Châtelier ont repris cette idée et ont simplifié et rendu très pratique ce petit écran mobile. Ils obtiennent des indications plus perceptibles encore en projetant la flamme sur un fond noir et observant à l'aide d'une loupe. On arrive ainsi à apprécier la présence d'un quart pour cent de grisou. Cette lampe, essayée déjà dans plusieurs mines, a donné de très bons résultats, et la Commission tient à en recommander l'emploi (1).

Les mêmes expérimentateurs avaient d'abord employé une lampe alimentée avec de l'hydrogène pur (2). La flamme presque incolore de ce gaz éteint beaucoup moins que celle de l'huile l'éclat de l'auréole bleue du grisou, qui devient avec ce dispositif beaucoup plus nette et plus importante. On appréciait ainsi le même degré de teneur qu'avec le système à écran; mais la complication de la production de l'hydrogène pur a fait abandonner cet appareil par ses auteurs lorsqu'ils se sont trouvés en possession du précédent.

96. — *Avertisseurs.* — Nous désignons sous ce nom un certain nombre d'appareils proposés pour annoncer *d'eux-mêmes*, et en dehors de l'attention et de l'observation spéciales du mineur, la présence du grisou.

L'indicateur Mounier détermine, au moyen d'étincelles électriques qui passent périodiquement, une petite explosion quand l'air vient à se charger de grisou. Mais ce moyen d'indication pourrait, indépendamment de sa complication, présenter de grands dangers.

---

(1) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 54 et 156. — *Compte rendu de l'Académie des sciences*, tome LXXXVIII, page 749. — *Journal des mines* 1879, page 243. — *Compte rendu mensuel*, mai 1879, page 109; et décembre 1879, page 289.

(2) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 159.

Le docteur Irvine, de Glasgow, a construit une lampe indicatrice fondée sur le principe des flammes chantantes (1). Un tube étroit se remplissant plus ou moins de flamme, suivant qu'elle s'allonge ou non en présence du grisou, pourra donner naissance à ce phénomène bien connu. Malheureusement, des expériences faites à Liége ont paru manquer de régularité. On a même été, dans cet ordre d'idées, jusqu'à proposer d'installer de pareilles lampes à demeure sur les points suspects avec des téléphones aboutissant dans le cabinet d'un surveillant spécial.

M. Turquan propose la sonnerie d'un avertisseur électrique déclanché par la rupture d'un fil combustible. Celui-ci est tendu dans une lampe fixe, à une distance de la flamme qu'elle ne franchira qu'à la condition de s'élargir en présence du grisou. Ce principe, ingénieux au point de vue théorique, paraît cependant bien précaire pour la pratique. Les moindres courants d'air pourraient déplacer la flamme et brûler le fil.

M. Clermont indique l'emploi d'une lampe Mueseler fixe dont la flamme échauffe une petite barre métallique. Dans le grisou, la lampe s'éteint, et la barre, en se refroidissant, éprouve un retrait qui ferme un circuit électrique et met en action une sonnerie.

M. Anselle a proposé un autre genre d'indicateur (2). Un ballon de caoutchouc plein d'air se gonfle par endosmose dans le grisou. On empêche sa dilatation de prendre son expansion dans le sens horizontal, et on la concentre suivant la verticale pour déclancher une sonnerie électrique. L'auteur a aussi apporté une modification à son système, en employant un tube électrique anéroïde qui se gonfle par l'endosmose d'un obturateur de porcelaine (3)

(1) *Revue annuelle*, de CUYPER, tome XXXIII, page 205.
(2) *Transactions of the North*, etc., tome XV, page 168.
(3) *Ibidem*, page 170.

ou de marbre blanc de Sicile (1). Ce fonctionnement est évidemment fondé sur l'hypothèse de la constance de la température, admise gratuitement par l'auteur. M. Anselle a encore imaginé un petit appareil de poche que l'on consulte après lui avoir donné le temps de prendre la température des travaux (2).

M. Forbes a fondé la construction d'un avertisseur sur un principe bien délicat (3), celui de l'inégalité de vitesse des ondes sonores dans les gaz plus ou moins denses. La tonalité d'un diapason se trouve ainsi modifiée par la présence du grisou. Entre autres objections, j'indiquerai celle de M. Castel, que différents gaz étrangers pourront venir obscurcir les indications de l'appareil.

Je citerai encore le phanéro-grisoumètre de M. Gossiaux, destiné tout à la fois à déceler la présence du grisou et à le consumer au fur et à mesure de sa production (4).

M. Murgue s'élève avec raison, d'une manière générale, contre l'emploi des avertisseurs fixes, et veut que l'on se contente des chercheurs nomades de grisou allant explorer librement tous les recoins suspects. Il ne saurait, d'ailleurs, entrer dans la pensée de personne que ces derniers puissent jamais être complètement suppléés par des appareils fixes, qui ne peuvent, dans aucun cas, que jouer un rôle accessoire. Ils sont en outre, même alors, de nature à endormir l'activité et la surveillance des maîtres mineurs.

97. — *Services d'inspection.* — En s'en tenant aux indications classiques des lampes de sûreté ordinaires, M. Blanchet recommande (5) d'en installer de fixes, de telle sorte que des *chercheurs de gaz* chargés de ce service spécial de

---

(1) *Transactions of the North*, etc., tome XVI, page 2.
(2) *Ibidem*, tome XV, page 171.
(3) *Compte rendu mensuel*, mai 1880, page 109.
(4) *Compte rendu mensuel*, septembre 1879, page 199.
(5) *Compte rendu mensuel*, mai 1876, page 32.

surveillance puissent dans leurs tournées les examiner au spectroscope.

Les règlements de mines doivent toujours exiger de semblables tournées de la part des maîtres mineurs ou des employés spéciaux dont nous avons parlé (page 275) avant l'entrée des ouvriers, toutes les issues étant fermées, le lendemain d'un chômage pendant lequel le régime normal a pu être troublé, des portes être laissées ouvertes, etc. Pour peu que le gîte soit considéré comme dangereux, cette visite se fait avec des lampes à double tamis, pour offrir une sécurité plus complète. Depuis la loi anglaise de 1872 (1), elle a lieu réglementairement tous les jours pendant l'année qui suit la moindre apparition constatée de grisou.

A Bessèges, on profite de l'interruption du dimanche pour arrêter le ventilateur et *tâter le pouls* à la mine. Le grisou, se dégageant ainsi sans trouble pendant cet intervalle, la visite du lundi matin signale plus nettement les points particulièrement dangereux, et l'on en tient compte dans l'organisation du travail de la semaine.

On recommande souvent aussi, comme nous l'avons vu, l'installation d'un baromètre et d'un thermomètre près de l'entrée et en un lieu apparent (2). Un registre en doit alors être tenu pour contrôler l'exactitude de ce service et en conserver les résultats. Si les indications de ces deux instruments paraissent menaçantes, on prend immédiatement les mesures nécessaires. Les baromètres enregistreurs Redier fourniront une indication continue préférable à ces observations périodiques qui sont plus ou moins bien effectuées. Ce constructeur leur adapte parfois une sonnerie électrique d'alarme, pour prévoir le cas d'une baisse rapide

(1) *Annales des mines*, partie administrative, 7e série, tome II, page 55.

(2) *Ibidem*, page 61.

et importante qui ne fixerait pas l'attention en temps utile. Leverrier avait étendu à cet ordre de préservation contre les influences atmosphériques ses systèmes d'avertissements météorologiques à la marine et à l'agriculture. M. Daubrée, comme conseiller de l'Observatoire de Paris, s'était mis en rapports pour organiser ce service avec la Société de l'industrie minérale, sur la base de l'abonnement aux dépêches de l'Observatoire pour les mairies des principales agglomérations houillères (1).

98. — *Appareils d'analyse.* — M. Paul Thénard (2) a disposé, en vue de l'analyse de l'air des mines, un petit eudiomètre très simple qui a été employé à Blanzy. Une cartouchière pleine d'eau renferme une cinquantaine de ces tubes. On les vide dans les travaux aux points suspects, on les rebouche en les tenant renversés sur cette petite cuve à eau, et leur analyse se fait ensuite rapidement au laboratoire.

M. Chuard a présenté à l'Académie des sciences, il y a une trentaine d'années, un *gazoscope* qui a été essayé à Douchy, mais est aujourd'hui abandonné. C'est une sorte d'aréomètre assez difficile à transporter dans les mines et exigeant des corrections trop compliquées pour la pratique (3).

M. Orsat a disposé également un appareil de laboratoire pour l'analyse des gaz de mine. En les faisant passer dans une série de tubes, il recueille l'acide carbonique dans la potasse, l'oxyde de carbone dans une solution ammoniacale de protochlorure de cuivre, et l'oxygène dans une dissolution de pyrogallate de potasse. D'autres tubes sont encore disposés de manière à recueillir les hydrocarbures. Cet

(1) *Compte rendu mensuel*, etc., juin 1877, page 2.
(2) Dombre : *Le Grisou*, page 43.
(3) *Ibidem*, page 44.

appareil, intéressant au point de vue scientifique, est trop compliqué pour pouvoir servir à l'étude journalière de l'atmosphère d'une mine sur de nombreux échantillons (1).

Je me bornerai à mentionner simplement les appareils de M. Truchot et de M. Thuau, ainsi que celui de M. Wilson, fondé sur le même principe que l'instrument de physique connu sous le nom de baroscope (2).

Le *tube-étincelle* du docteur Angus Smith est une sorte de briquet à air renfermant de la mousse de platine. Celle-ci rougit si l'atmosphère est grisouteuse au moment où on la comprime avec le piston. On annonce que cet appareil peut déceler la présence de 2,5 p. 100 de grisou (3).

M. Livenig emploie la différence d'éclat du platine dans l'air pur et dans une atmosphère grisouteuse. Deux tubes, dont l'un est fermé et rempli d'air normal, tandis que l'autre reste ouvert, renferment deux spirales de platine. On apprécie leur éclat à l'aide d'un petit appareil photométrique dont la graduation indique la teneur en grisou de l'air de la mine (4).

M. Lemaire-Douchy a proposé un extracteur qui, à l'aide d'une canalisation et d'un aspirateur extérieur, appellerait incessamment l'air des divers points suspects dans un laboratoire d'essai. Cette idée est sans valeur. M. Amouroux a mis en avant un appareil analogue (5).

M. Coquillion a construit des appareils fort intéressants

(1) *Compte rendu mensuel*, février 1877, page 1. — *Annales des mines*, 7e série, tome VIII, page 485. — *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VII, page 295.

(2) *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 10 octobre 1880, page 34.

(3) *Les Mondes*, tome LIII, page 1.

(4) *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 10 octobre 1880, page 34.

(5) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, etc., page 120.

qu'il appelle *grisoumètres* (1). Ils sont de deux sortes, l'un fragile et délicat pour les opérations de laboratoire, l'autre portatif pour exécuter sur place des essais multipliés, jusqu'à vingt ou trente au besoin pour une tournée de mine. M. Coquillion se fonde sur un principe qui lui est propre, et lui fournit une analyse eudiométrique sans explosion. Il a reconnu qu'un fil de palladium porté à la température blanche (le rouge ne suffit pas), dans un milieu qui renferme de l'hydrogène carboné avec un excès d'oxygène, provoque la condensation, et comme conséquence, la combinaison de ces gaz, accompagnée, comme nous le savons, de la disparition d'un volume double de celui du grisou. Cette diminution de volume est appréciée à l'aide d'une graduation dont la lecture fournit de suite la proportion de gaz. M. Berthelot a émis la crainte que le palladium ne vienne à se désagréger par l'usage, en altérant la netteté de son action sans qu'on en soit même informé, ce qui jetterait un doute sur la valeur des indications. Mais M. Le Châtelier a reconnu que le platine donne des effets encore meilleurs, et M. Coquillion, se rendant à la justesse de cette observation, substitue maintenant ce métal au palladium. Quant au moyen de porter le fil à la température

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VI, page 431.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome LXXXIV, page 458, et tome LXXXVII, page 195.

Compte rendu mensuel, etc., septembre 1876, page 35.

Ibidem, janvier 1877, page 24.

Ibidem, décembre 1877, page 5.

Ibidem, janvier 1878, page 4.

Ibidem, février 1878, page 5.

Ibidem, mars 1879, page 75.

Rapport de M. Coulon sur le grisoumètre. Rouen, chez Lecerf, 1877.

La Nature. Gaston Tissandier, 1877, page 357.

Rapport de M. Leblanc (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VII, page 301).

blanche, M. Coquillion le trouvait dans la pile Planté, sorte d'accumulateur électrique, qui donne dans les instants voulus toute l'intensité désirable, en employant les intervalles de temps à réparer ses pertes. Mais cet organe a été récemment remplacé, dans le grisoumètre portatif de mines, par une pile de grand modèle construite par M. Trouvé. Elle est en état de maintenir le fil incandescent pendant quatre à huit minutes, tandis qu'un quart de minute suffit pour une opération.

D'après M. Thénard, le grisoumètre *portatif* de mines ne donne pas des résultats d'une précision absolue. On doit plutôt le considérer comme un indicateur que comme un mesureur. Sous ce rapport, il réussit encore à déceler la présence du grisou dans des mélanges qui n'en renferment pas plus d'un demi pour cent. M. Fouqué, dans la mission qu'il a accomplie à Anzin pour la Commission, a eu au contraire à se louer de cet appareil et lui attribuait une précision d'un quart pour cent. Les erreurs dues à la présence de l'acide carbonique et aux variations de température lui ont paru négligeables. La Commission a confié à MM. Mallard et Le Châtelier le soin de préparer par des expériences spéciales ses conclusions à cet égard. Le rapport de ce dernier (1) conclut à une sérieuse prise en considération de l'appareil de laboratoire, qui se recommande comme une très utile création, mais il regarde comme insuffisant le grisoumètre portatif. Nous croyons savoir, du reste, que M. Coquillion lui-même fait une très grande différence entre ses deux appareils. Le rapport de M. Le Châtelier forme une savante et excellente monographie du grisoumètre qui mérite d'être consultée dans son entier; mais il me serait impossible d'entrer ici dans plus de développements à ce sujet.

(1) *Pièces annexées aux procès-verbaux*, page 92.

TROISIÈME PARTIE.

MOYENS EMPLOYÉS POUR REMÉDIER AUX ACCIDENTS.

---

§ XVIII. — COUPS DE FEU.

99. — *Statistique.* — Tout l'ensemble de précautions qui vient d'être décrit n'est malheureusement que trop insuffisant pour pouvoir toujours conjurer de funestes ha-

ANNÉES.	HOUILLE.								AN-		
	NOMBRE TOTAL d'ouvriers			OUVRIERS ATTEINTS				Rapport du nombre des ouvriers tués par explosion de grisou ou par asphyxie au nombre total d'hommes tués par des accidents de toutes sortes.	NOMBRE TOTAL d'ouvriers		
	employés à l'intérieur.	tués, tant à la surface qu'à l'intérieur.	blessés, tant à la surface qu'à l'intérieur.	par explosion de grisou.		par asphyxie.			employés à l'intérieur.	tués, tant à la surface qu'à l'intérieur.	blessés, tant à la surface qu'à l'intérieur.
				Tués.	Blessés.	Tués.	Blessés.				
1850	21.131	117	395	14	7	3	—	0,145	1.342	2	77
1860	36.883	154	780	5	62	9	19	0,091	4.809	10	207
1861	40.881	268	918	42	33	2	—	0,164	4.906	11	136
1862	43.355	150	882	11	19	10	1	0,140	4.912	5	132
1863	46.015	186	942	42	42	7	—	0,263	4.874	6	143
1864	48.156	170	909	7	31	12	—	0,112	4.604	14	152
1865	49.225	235	899	45	43	8	—	0,226	5.151	9	135
1866	50.749	202	942	20	34	3	1	0,114	5.053	9	112
1867	53.040	288	876	131	62	3	—	0,465	4.973	9	193
1868	54.227	211	862	46	45	6	4	0,246	5.109	10	254
1869	54.835	264	957	56	25	27	—	0,314	5.028	13	[illegible]
1870	53.586	228	1.044	36	47	7	2	0,189	4.580	7	196
1871	53.634	247	970	92	31	8	—	0,405	4.198	11	171
1872	59.346	205	1.441	53	15	2	—	0,268	4.517	10	111
1873	68.466	216	1.566	30	60	6	—	0,167	5.566	18	118
1874	68.207	207	1.730	24	32	8	1	0,159	5.336	9	176
1875	70.659	206	1.827	19	26	17	—	0,175	4.662	12	96

sards. Il y a donc lieu maintenant de montrer jusqu'à quel point on est armé pour remédier aux conséquences d'une catastrophe quand elle est accomplie.

La sinistre réputation de ces redoutables phénomènes est assez bien établie pour qu'il puisse paraître inutile d'insister ici sur leurs côtés tragiques. Cependant il est nécessaire de préciser la question par des chiffres authentiques. M. Keller, ingénieur des mines, chef du service de la statistique minérale au ministère des travaux publics, a bien voulu, à ma demande, dresser pour la France un tableau très intéressant, que je suis heureux d'insérer dans ce rapport. On y a distingué les résultats de l'explosion, de ceux de l'asphyxie proprement dite sans coup de feu et due à

THRACITE.					LIGNITE.							
OUVRIERS ATTEINTS				Rapport du nombre des ouvriers tués par explosion de grisou ou par asphyxie au nombre total d'hommes tués par des accidents de toutes sortes.	NOMBRE TOTAL d'ouvriers			OUVRIERS ATTEINTS				Rapport du nombre des ouvriers tués par explosion de grisou ou par asphyxie au nombre total d'hommes tués par des accidents de toutes sortes.
par explosion de grisou.		par asphyxie.			employés à l'intérieur.	tués, tant à la surface qu'à l'intérieur.	blessés, tant à la surface qu'à l'intérieur.	par explosion de grisou.		par asphyxie.		
Tués.	Blessés.	Tués.	Blessés.					tués.	blessés.	tués.	blessés.	
—	1	—	—	—	1.333	3	4	—	—	—	—	—
1	8	—	—	0,100	1.410	2	13	—	—	—	—	—
1	9	1	—	0,182	1.477	5	28	—	—	—	—	—
—	8	—	—	—	1.383	2	1	—	—	—	—	—
—	1	—	—	—	1.866	4	2	—	—	—	—	—
3	6	—	—	0,357	2.058	2	11	—	1	—	—	—
1	9	1	—	0,222	2.023	8	5	—	—	4	—	0,500
—	1	—	—	—	1.925	3	12	—	—	—	—	—
—	2	2	—	0,222	1.834	9	8	—	1	—	—	—
—	2	1	—	0,100	1.887	—	7	—	—	—	—	—
1	7	5	—	0,462	2.158	3	2	—	—	—	—	—
—	2	—	—	—	2.085	4	2	—	—	—	—	—
—	1	1	—	0,091	2.293	2	5	—	—	—	—	—
4	4	—	—	0,400	2.651	1	2	—	—	—	—	—
1	1	—	—	0,056	2.628	4	7	—	—	2	—	0,500
—	4	—	—	—	2.293	2	5	—	1	—	—	—
—	—	—	—	—	2.336	6	8	—	—	1	—	0,167

des causes quelconques. Il a paru que ce dernier genre de renseignements trouvait naturellement sa place ici, puisqu'il se relie si directement à l'aérage. On lit séparément les nombres de tués et de blessés, tant à la surface qu'à l'intérieur. Enfin la nature du gîte est spécifiée jusqu'à un certain point par la division en trois catégories : houille, anthracite et lignite. La seconde colonne présente le nombre total des ouvriers employés à l'intérieur. La troisième et la quatrième renferment le total des accidents de toute nature, afin qu'on puisse y comparer ceux qui sont dus spécialement à l'influence des gaz.

Si l'on totalise ces résultats pour les 16 années mentionnées dans ce tableau et pour les trois sortes de combustibles, en se bornant, pour rentrer dans notre cadre spécial, aux seules explosions de grisou, sans y comprendre ce qui est relatif à l'asphyxie proprement dite, on trouve très sensiblement autant de tués que de blessés, et, pour chacune de ces deux catégories, la proportion de 1 victime sur 1.427, c'est-à-dire en tout 1 homme atteint sur 713. Cette proportion n'est du reste qu'approximative et inférieure à la réalité, car elle embrasse à la fois le personnel du jour et du fond, tandis que le grisou n'affecte que l'intérieur. Ce chiffre, si élevé qu'il soit, ne représente toutefois qu'une faible partie, le quinzième environ, du nombre total des accidents de toute nature. Pour donner une idée du classement de ces accidents généraux, je placerai ici ce tableau relatif à l'année 1878 (1) :

Éboulements	48,68
Ruptures de câbles, de machines, chutes de cages.	8,65
Chutes dans les puits	8,02
Coups de mine	4,50
Explosions de grisou	3,60
Asphyxie	0,20
Causes diverses	26,35
	100,00

(1) *Statistique minérale*, de 1878, publiée en 1880, page 56. Il est nécessaire de faire remarquer que ce tableau comprenant, outre

Les nombres d'hommes atteints se répartissent de la manière suivante pour les trois sortes de combustibles.

Houille.	[illegible]
Anthracite.	0,0353
Lignite.	0,0019

M. Delsériès, ingénieur en chef des mines, a publié une statistique spéciale du bassin de la Loire entre 1817 et 1832 (1). Elle indique le nombre des ouvriers tués ou blessés par les explosions.

ANNÉES.	EXTRACTION en multiples de 10.000 tonnes.	NOMBRE de victimes.
1817	39	18
1818	39	15
1819	33	7
1820	38	24
1821	40	11
1822	42	18
1823	45	19
1824	56	10
1825	51	4
1826	56	17
1827	62	1
1828	67	1
1829	62	33
1830	68	2
1831	63	2

C'est une moyenne de douze hommes par an. L'extraction annuelle est de 500.000 tonnes en nombre rond, et comme M. Delsériès indique une production moyenne de 200 tonnes par ouvrier, on peut admettre un chiffre de 2.500 hommes environ, ce qui représente une victime pour 208 ouvriers, proportion beaucoup plus forte (plus du triple) que celle des 16 années comprises entre 1860 et 1875. Ce résultat donne une idée encourageante de l'influence des améliorations accomplies depuis cette époque.

---

les houillères, les mines métalliques et les carrières, la proportion des sinistres dus au grisou s'y trouve atténuée au delà du chiffre réel qui concerne les mines de combustible.

(1) Mémoire de M. Boisse sur les explosions des mines de houille. — *Traité d'exploitation*, de Ponson, tome II, page 272.

En ce qui concerne la Grande-Bretagne, le tableau suivant (1) fait connaître le chiffre des accidents de 1860 à 1865.

CAUSES.	1860		1861		1862		1863		1864		1865	
	Accidents.	Morts.	Accidents.	Morts.	Accidents.	Morts.	Accidents.	Morts.	Accidents.	Morts.	Accidents.	Morts.
Explosions. . . .	70	368	61	119	55	190	51	163	59	94	64	168
Eboulements. . .	379	388	413	427	402	422	398	407	380	395	368	381
Causes diverses.	320	353	337	397	271	511	308	337	338	378	405	435
Totaux. . .	769	1.109	811	943	738	1.133	757	907	777	867	837	984

Il est intéressant d'établir un rapprochement entre ces résultats et ceux que présente la France. L'année 1863 peut être choisie sous ce rapport comme ne renfermant pas de circonstances exceptionnelles :

ACCIDENTS.	FRANCE.		ANGLETERRE.	
	Nombre de morts.	Proportion.	Nombre de morts.	Proportion.
Explosions.	42	0,22	163	0,18
Eboulements.	69	0,37	407	0,45
Causes diverses.	75	0,41	337	0,37
Total.	186	1,00	906	1,00

Mais le point de vue auquel il est le plus essentiel de se placer concerne le rapport du nombre de victimes à celui des ouvriers employés. Ce rapport a atteint en France les valeurs suivantes :

1860.	0,0027	
1861.	0,0043	(coup d'eau de Lalle, 105 victimes).
1862	0,0023	
1863.	0,0027	
1864.	0,0024	

(1) Emprunté, ainsi que le suivant, à l'intéressant rapport de M. Coince, ingénieur des mines, chargé d'une mission par la Compagnie d'Anzin, à la suite de la catastrophe de Oaks Colliery.

Il a été en Angleterre de 0,0031 en 1865 (1) et de 0,0046 en 1866.

Si l'on veut enfin établir un rapprochement entre ces résultats meurtriers et le tonnage de l'extraction, il résultera des chiffres suivants :

	FRANCE. 1864	GRANDE-BRETAGNE. 1865
Production totale en tonnes	11.242.634	100.493.748
Nombre d'ouvriers employés	76.666	315.451
Production annuelle par ouvrier, en tonnes	147	318
Nombre d'ouvriers tués	186	984
Rapport du nombre des hommes tués à celui des ouvriers employés	0,0024	0,0031
Quantité de houille correspondant à un homme tué, en tonnes	60.444	102.127

On sait que les conditions géologiques des gisements anglais permettent un rendement des piqueurs beaucoup plus élevé qu'en France, malgré les perfectionnements incessants apportés aux méthodes d'exploitation dans notre pays.

M. Galloway rapporte également, en ce qui concerne la Grande-Bretagne, les chiffres suivants. De 1851 à 1860, 768 accidents ont entraîné mort d'homme. Ce chiffre a été de 601 pour une période égale, de 1861 à 1870. C'est une moyenne de 68 à 69 accidents mortels par année (quel que soit le nombre des morts pour chacun d'eux). Si l'on note à part celles de ces catastrophes qui ont occasionné plus de dix décès, on en trouve :

13	de	1851	à	1855
15	de	1856	à	1860
12	de	1861	à	1865
21	de	1866	à	1870

De là une moyenne annuelle de trois accidents présentant ce degré de gravité. A partir de 1851, les mines anglaises ont été placées sous le régime de l'inspection officielle, et le nombre des victimes du grisou s'est trouvé abaissé de près de moitié (2).

(1) Année pour laquelle on a commencé à recueillir ce renseignement.

(2) Ce régime a été défini par CALLON dans les *Annales des mines* (6e série, tome VI)

100. — Il est facile de comprendre que d'après l'énorme progression qu'a subie l'extraction depuis un demi-siècle, le nombre total des victimes a dû augmenter; mais qu'en raison des perfectionnements apportés dans l'exploitation au point de vue de la sécurité, le rapport de ce chiffre à celui de l'extraction a dû diminuer. Enfin, en raison de la tendance de plus en plus marquée à la concentration des ouvriers dans des travaux moins vastes que par le passé pour un chiffre égal du personnel, l'importance des catastrophes exceptionnelles devient de plus en plus propre à fixer l'attention générale par l'étendue des désastres qui viennent frapper à la fois toute une population.

La sympathie publique s'associe irrésistiblement à ces grands deuils. Mais la plus stricte justice exige que l'on signale à cette place la sollicitude incessante de l'administration française, s'exerçant, tant par l'initiative individuelle de ses ingénieurs dans leurs services respectifs que par d'importantes instructions ministérielles publiées à diverses époques (1). De grands éloges sont dus d'ailleurs à nos

(1) M. l'inspecteur général DUPONT cite notamment :

La circulaire du directeur général des mines (17 février 1813), accompagnée de l'instruction médicale du docteur Salmade;

La circulaire du directeur général des mines (10 mai 1824) sur l'emploi des lampes de sûreté, avec une instruction détaillée;

La circulaire ministérielle (30 septembre 1869) prescrivant aux ingénieurs des mines des arrondissements houillers de se livrer à une étude approfondie en ce qui concerne le grisou;

La circulaire ministérielle (31 mai 1872) exigeant que toutes les mines exposées au mauvais air possèdent des appareils de sauvetage;

La circulaire ministérielle (6 décembre 1872), accompagnée d'une instruction détaillée du conseil général des mines sur l'aérage des mines à grisou;

La circulaire ministérielle (27 juillet 1877) concernant la revision des instructions médicales de 1813;

Enfin, pour mémoire, les nombreux arrêtés préfectoraux concernant individuellement ou collectivement les mines à grisou, pris en vertu de l'article 50 de la loi du 21 avril 1810, du décret du 3 janvier 1813, des articles 8 et 9 de la loi du 27 avril 1838 et de l'ordonnance du 26 mars 1843.

Compagnies houillères pour les efforts intelligents, persévérants et désintéressés qu'elles ne cessent d'opposer à ce fléau dévastateur, et pour les organisations financières créées par leurs soins, en vue de remédier aux conséquences de ces désastres, pour les familles privées de leurs chefs.

Je citerai ici quelques chiffres douloureusement éloquents pour donner une idée des sinistres dont le champ de bataille souterrain a été le théâtre :

50 victimes à Hilda (Newcastle), en 1839.
52 à Walsend (Newcastle) en 1821 (1).
59 à Rainton (Newcastle), en 1823.
59 à Edmund's Main (Yorkshire), en 1862.
61 à Nitshill (Écosse), en 1851.
65 à Tiefbau près Witkowitz (Moravie et Silésie autrichiennes), en 1861.
68 à Middle-Duffreyn (sud du pays de Galles), en 1855.
68 au puits Fair Lady, Leycett Company (Newcastle), 21 janvier 1880.
69 à Fatfield, en 1718.
69 à Dinas (Cardiff), 20 janvier 1879.
70 au puits Jabin, dans un premier accident.
73 à Oaks Colliery (Yorkshire), en 1847, dans un premier accident.
76 à Burradon (Newcastle), en 1860 (2).
80 à Bensham (Newcastle), en 1710.
82 à Neu-Iserlohn (Westphalie), le 15 janvier 1868 (3).
88 au puits Cinq-Sous de Montceau-les-Mines (4), le 12 décembre 1867.
90 à Zwickau, le 7 décembre 1879.
90 à Felling-Colliery, le 25 mai 1812 (5).
91 à Talk O'Th'hill (nord du Staffordshire), le lendemain de la grande catastrophe de Oaks Colliery qui termine cette liste funèbre.
95 à Haswel (Newcastle), en 1844.
102 à Walsend (Newcastle), en 1835.
119 à Risca près Newport, le 15 juillet 1880.
126 à l'Agrappe (Frameries), le 17 avril 1879.
130 à Risca (sud du pays de Galles), en 1860.

---

(1) Voir, pour cette catastrophe : *Transactions of the North*, etc., tome XV, page 175.

(2) *Transactions of the North*, etc., tome VIII, page 162.

(3) *Journal de Carnall*, tome XVI, page 1868. Le trait des hommes venait de commencer, et ces 82 victimes ont été frappées en quelque sorte sous les yeux de leurs camarades qui attendaient autour du puits leur tour de descente.

(4) Dans lequel un accident précédent avait déjà tué 39 ouvriers.

(5) Origine de la découverte de la lampe de sûreté par Davy.

189 au puits Jabin (Saint-Étienne) (1), le 4 février 1876.
189 à Lundhill (Yorkshire), en 1857.
195 à Seaham (Sunderland), le 7 septembre 1880.
195 à Haydock, le 7 juin 1878.
204 à Hartley, en 1862.
207 à Blantyre (Écosse), le 22 octobre 1877.
235 à Woodfit, en juin 1878.
264 à Abercane, mine Prince de Galles (Montmouth Shire), le 11 septembre 1878.
276 à Burgk (Saxe), en 1869.
326 à Plauen (Saxe), le 2 août 1868.
361 à Oaks Colliery (Yorkshire), le 12 décembre 1866.

Dans ces désastres, les chevaux partagent naturellement le sort des hommes. A Hetton, le 20 décembre 1860, 65 chevaux ont été tués en même temps que 22 hommes (2).

101. — J'ai déjà dit que la Commission a obtenu de M. le ministre des travaux publics le concours de deux ingénieurs des mines, MM. Petit-Didier et Lallemand, pour dépouiller les dossiers et classer les causes et les circonstances de plus de quatre cents accidents de grisou. Un travail d'ensemble sera publié à ce sujet. Aussi je me bornerai à quelques brèves indications sur deux coups de feu seulement : celui de Oaks Colliery, la plus épouvantable catastrophe qui ait jamais décimé la population souterraine, et celui de Frameries, qui, par son caractère inattendu et saisissant, menace de faire entrer pour l'avenir la question du grisou dans une ère plus fatale peut-être encore que par le passé.

A Oaks Colliery, 67 mètres cubes d'air étaient envoyés par seconde, dans une étendue de 122 hectares de travaux effectués sur une seule couche de $2^{m},40$, inclinée sur l'horizon de 4° 30′ et formée d'une houille grasse à longue flamme, exploitée par grandes tailles montantes avec ébou-

(1) Déjà le théâtre d'un accident antérieur.
(2) Wood : *Transactions of the North*, etc., tome IX, page 93.

lement (1). Une première explosion anéantit 334 hommes. Les ingénieurs et le reste des ouvriers disponibles descendirent, au nombre de 27; mais ils furent frappés par un second coup de feu. Dix-sept détonations se succédèrent pendant six jours, sans qu'il fût possible de faire aucune nouvelle tentative pour rentrer dans les travaux avec le personnel des mines voisines malgré son zèle. On crut cependant entendre une voix au fond du puits; on put descendre et sauver encore un homme, le seul qui eût été retiré vivant.

L'accident de Frameries semble fait pour déjouer toutes les précautions que la science et la prudence cherchent opiniatrément à opposer au fléau (2). Les travaux s'étendaient à 610 mètres de profondeur dans la veine épuisoire de 0m,40 à 0m,50 de puissance. Le front de taille, sur le théâtre du sinistre, avait 10 mètres de longueur. Tout à coup, le 7 avril 1879, à 7 heures 1/2 du matin, une masse inouïe de grisou sortit par le puits n° 2 de l'Agrappe, s'alluma sur un feu de la salle des machines et forma pendant trois heures une flamme gigantesque, qui présentait un diamètre égal à celui du puits : 3m,60, et environ 40 mètres de hauteur. D'après le mouvement des corps solides qui se trouvaient entraînés, on put évaluer la vitesse du flot gazeux à 4 ou 5 mètres par seconde, et son volume total à *quatre ou cinq cent mille mètres cubes.* Pendant les premiers temps, aucune explosion ne se produisit; mais quand la violence du dégagement vint à se ralentir, l'air commença à rentrer de divers côtés et à former des mélanges détonants. Neuf explosions se succédèrent à des intervalles presque égaux, et la dernière eut lieu au bout de trois heures et demie.

(1) Embleton : *Transactions of the North*, tome XXV, page 29.

(2) *Annales des mines*, 7e série, tome XV, page 575. — *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, page 161. — *Bulletin de la Société d'encouragement*, 3e série, tome VI, page 442. — G. Arnoult : *Dégagements instantanés de grisou.*

Environ 200 mineurs étaient enfermés dans l'intérieur. En entendant le bruissement produit par l'écoulement du grisou dans le puits d'extraction, ils cherchèrent une issue par un autre puits qui débouchait près du premier. Mais l'incendie qui dévorait toute la surface ne leur permit pas de sortir. Craignant dès lors d'être asphyxiés sur ce point, 121 ouvriers redescendirent; ils furent tous perdus, ainsi que cinq personnes qui s'étaient trouvées prises, dans le chantier même, où un coup de mine avait sans doute disloqué le massif et déterminé cet épouvantable dégagement instantané. Les autres restèrent à leur place et purent être sauvés. La pression du gaz dans la houille, qui est toujours dans cette couche de 2 à 3 atmosphères, y a été trouvée parfois égale à 16 atmosphères. Devant de tels chiffres, l'imagination s'arrête confondue; mais l'énergie de la résistance n'en doit pas être découragée, et il ne faut voir, dans de pareils faits, qu'un stimulant de plus pour arriver à mettre, par de nouveaux efforts, les ressources de l'ingénieur au niveau des difficultés nouvelles que semble réserver l'avenir, pour des cas qui, du reste, il faut l'espérer, resteront toujours exceptionnels.

Celui qui écrit ces lignes éprouverait, en présence de pareilles hécatombes, une sorte de scrupule à insister sur le dommage matériel qui les accompagne. Il ne sera pourtant pas inutile de faire ressortir, d'après la destruction du matériel, la suspension des travaux et le trouble commercial qui en résulte, les indemnités accordées aux familles, etc., l'utilité qu'il y a, même en dehors de la question d'humanité devant laquelle tout s'abaisse, à ne reculer devant aucune dépense qui puisse présenter quelque efficacité pour augmenter la sécurité au point de vue des explosions de grisou.

102. — *Causes des coups de feu.* — Les causes déterminantes de l'inflammation peuvent être : une irrégularité dans le fonctionnement du foyer d'aérage, l'explosion d'une

chaudière intérieure (1), le tirage d'un coup de mine (2), l'emploi des lampes à feu nu dans une mine ordinairement exempte de grisou (3), le dévissage par imprudence d'une lampe de sûreté, la sortie de la flamme produite par un courant d'air, la déchirure d'un tamis ou d'un chapeau de lampe, une allumette enflammée au mépris du règlement, etc. On a même vu l'inflammation descendre de la surface. A Saint-Hilda (South Shields) le 17 décembre 1852, un feu extérieur alluma le gaz qui sortait d'un puits en chômage. Une colonne de flammes se propagea jusqu'au fond, où eut lieu une explosion (4). On vient d'en voir un nouvel exemple dans l'accident de Frameries, et il y en avait eu déjà d'autres à Beaubrun, à Bessèges, aux Fiestaux (Charleroi) (5).

Un premier coup de feu, en désorganisant le service et laissant parfois des soufflards allumés, en prépare souvent de nouveaux. L'explosion de Burradon du 2 mars 1860 a été double à 20 minutes de distance (6) et l'on en pourrait citer bien des exemples. Mais nulle part cette désastreuse complication n'a été, comme nous l'avons vu, plus marquée que dans la catastrophe de Oaks Colliery.

103. — *Effets des coups de feu.* — Quant aux effets des coups de feu, ils ne sont que trop connus (7). Les ouvriers

---

(1) Par exemple l'accident de Hetton du 20 décembre 1860 dont il vient d'être question.

(2) Campagnac, le 2 novembre 1874; Sainte-Marie-du-Montceau, 7 février 1871; la Péronnière, 8 juin 1872; Wynnstay (Lancashire), 24 avril 1873; Neu-Iserlohn, 12 décembre 1870; etc.

(3) M. Baimbridge estime l'influence de cette cause à 39 p. 100 du nombre des explosions (*Transactions of the North*, etc., t. XXIII, page 15).

(4) *Transactions of the North*, etc., tome XV, page 247.

(5) Melsens : *Mémoire de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, tome XLVII.

(6) *Transactions of the North*, etc., tome VIII, page 162.

(7) Cependant il est à désirer que des observations scienti-

sont brûlés, projetés et brisés contre les parois, ou asphyxiés. S'ils ont le temps de voir venir la flamme, ils doivent se jeter ventre à terre, la figure dans l'eau ou dans la boue. On dit souvent que les victimes *ont avalé le feu.* L'intérieur des poumons est en effet désorganisé.

M. Murgue considère comme la principale souffrance éprouvée dans les sauvetages, la dessication de la gorge produite par une atmosphère chargée de poussières brûlantes et la suffocation qui en résulte. Il se pourrait, d'après lui, que l'asphyxie fût parfois due à une action de ce genre, ce qui expliquerait, sans l'intervention de l'oxyde de carbone, que l'on ait trouvé des lampes restées allumées, bien que les mineurs aient tous péri par asphyxie.

La mort est parfois rigoureusement instantanée. Des hommes ont été retrouvés dans la position même du travail, les uns arc-boutés sur leur pelle, d'autres sur leur manivelle (1). Cette circonstance semble à M. Paul Bert exclure, pour ce cas, l'hypothèse de l'asphyxie, dans laquelle il y a toujours lutte. L'énorme compression statique, exercée par l'atmosphère sur toute la surface pulmonaire, provoque sans doute un afflux de sang au cœur et une syncope mortelle qui laisse en effet le visage pâle. S'il se dégage de l'oxyde de carbone dans les produits de la combustion, les hommes qui pourront survivre à l'explosion seront empoisonnés après coup.

Les boisages sont renversés, l'éboulement en est la conséquence, par suite l'obstruction des chemins d'air et des galeries par lesquelles pourrait s'effectuer le sauvetage. Ces complications funestes sont souvent aggravées par la per-

---

fiques puissent de plus en plus dans l'avenir se concilier avec le trouble et le désordre de ces douloureuses circonstances. A la demande de la Commission, M. le docteur Regnard a préparé un programme des lacunes qu'il serait le plus important de voir combler (Pièces annexées aux procès-verbaux, page 158).

(1) Docteur Bousquet, de Graissessac.

sistance de quelques exploitants à considérer les retours d'air comme des voies sacrifiées, et à les établir sur une petite section, contrairement à la règle rationnelle qui a été énoncée à cet égard.

Les cloisons sont détruites, les portes renversées, le foyer d'aérage, le ventilateur souvent disloqués. L'aérage est donc interrompu et avec lui la possibilité de rentrer directement dans les travaux.

Les soufflards restent allumés s'ils trouvent encore assez d'oxygène. Ils feront donc de nouveau sauter la mine si le grisou continue à l'envahir. Ils pourront également communiquer l'incendie au charbon et aux bois de soutènement.

Les guidonnages peuvent être déviés et la descente des cages rendue impossible. Une épaisse colonne de fumée et même parfois des flammes livides s'échappent par l'orifice des puits.

Après la première expansion arrive le refroidissement, la contraction du gaz et la condensation de la vapeur d'eau. Il en résulte un choc en retour, suivi de quelques oscillations dont la violence va en diminuant.

La confusion, le désespoir règnent aux abords du puits, et cependant jamais l'ordre et la présence d'esprit n'ont été plus nécessaires pour procéder aux mesures de sauvetage dont il nous faut maintenant dire quelques mots.

§ XIX. — SAUVETAGE.

104. — *Mesures préalables.* — Rappelons d'abord que certaines mesures peuvent être prises à l'avance pour améliorer les conditions du sauvetage quand il y aura lieu d'y procéder. J'ai déjà cité par exemple le bassin de retenue qui permet d'établir une pluie artificielle dans le puits, et les tuyaux des générateurs de surface qui pourront faire dé-

boucher la vapeur par des ajutages à la base du puits de retour d'air pour continuer le mouvement du courant.

M. Creswick va jusqu'à demander deux ventilateurs au lieu d'un. L'appareil supplémentaire est garanti par de fortes défenses contre les effets d'un coup de feu, et on le met en marche si le premier est emporté. On le fait du reste fonctionner de temps à autre pour s'assurer de son bon état et on profite de cet intervalle pour la visite et les grosses réparations du ventilateur normal.

La loi anglaise, en imposant deux puits distincts, l'un pour l'entrée, l'autre pour la sortie de l'air, exige entre eux un massif inattaqué d'au moins 3 mètres. Si, en effet, l'intervalle était trop faible, il pourrait être disloqué par un coup de feu, et le courant allant alors d'un puits à l'autre par le plus court abandonnerait les travaux.

Lorsque les deux puits d'aérage, quelle que soit leur distance, communiquent par un travers-bancs, il y faut, pour le même motif, ménager des portes solides et étanches capables de résister à une explosion. De plus leurs parois doivent être muraillées et les joints liaisonnés au mortier pour les rendre imperméables, sans quoi l'air pourrait filtrer au travers, au détriment de la circulation générale. Le coup de feu de Layon et Loire, de 1869, a eu ses conséquences aggravées par l'oubli de cette précaution (1).

En vue de rétablir autant que possible les conditions du circuit normal de l'aérage, on dispose parfois à côté des portes les plus importantes une autre porte très légère suspendue au plafond sur une charnière transversale à la galerie, et soutenue dans la position horizontale par un piquet présentant peu de stabilité. La porte ordinaire étant emportée par un coup de feu, ainsi que le piquet, la cloison retombe par son poids, et n'ayant plus à subir que des oscillations moins violentes, elle pourra être préservée et finir

(1) DORMOY : *le Grisou*, page 90.

par rester suspendue verticalement en fermant de nouveau le passage.

M. Verpilleux a également introduit un autre système de portes destiné à diminuer l'importance des ravages d'un coup de grisou en le circonscrivant dans une région plus restreinte et l'empêchant de se propager au delà (1). Deux portes très massives et très solidement établies sont disposées à une faible distance l'une de l'autre et s'ouvrent en sens contraires. Mais des ressorts ou des contre-poids les tiennent plaquées contre la paroi, tout en laissant une faible prise au courant d'air, de manière à les solliciter à se fermer. Dans ces conditions, de quelque côté que vienne l'explosion, l'une des portes obéira, et s'appliquera sur son cadre en bouchant le passage et arrêtant la propagation de l'onde destructive. Ensuite, par la condensation du fluide et la réaction du ressort ou du contre-poids, elle se rouvrira ; mais le vide qui tend à se produire rabattra la seconde porte sur son cadre, et on aura ainsi entravé la transmission des effets mécaniques. En fait, ces portes ont été presque toujours arrachées de leurs gonds, faussées ou brisées. Mais, même alors, elles ont parfois rempli leur office, au moins dans une certaine mesure. Cependant au puits Jabin, elles ont laissé passer le torrent de feu (2).

Nous avons parlé ci-dessus (p. 318) des portes proposées par M. l'ingénieur en chef Mallard, en vue de diminuer les dangers du tirage à la poudre au point de vue de la propagation d'un coup de grisou ou de poussières.

Des portes d'un nouveau genre commencent en outre à fixer l'attention. Elles sont formées de toiles métalliques montées sur un châssis. La première idée en semble due à Davy lui-même. M. Clermont y a rappelé l'attention vers

---

(1) VERPILLEUX : Note sur un système de portes (*Annales des mines*, 6e série, tome XII, page 563).

(2) *Compte rendu mensuel*, juin 1876, page 31.

1877, dans un mémoire présenté à la Société de l'industrie minérale, et depuis lors à la Commission du grisou. M. Mathet, ingénieur en chef de la compagnie de Blanzy, a soumis cette proposition au contrôle de l'observation, dans des expériences nombreuses et très soignées (1). La porte est ouverte en temps ordinaire, pour que le courant d'air puisse passer sans éprouver la grande résistance qu'elle lui opposerait. On estime, en effet, qu'elle réduit le débit de 40 p. 100. L'explosion la ferme par le déplacement de la colonne d'air, qui est mise en mouvement par l'expansion gazeuse et précède la flamme. Les portes, n'opposant pas une résistance absolue et étanche, supporteront un moindre effort que celles de M. Verpilleux, ce qui leur donne plus de chances de conservation ; c'est en cela que réside leur avantage. Les deux ou trois toiles métalliques superposées semblent arrêter efficacement l'incandescence, car des capsules pleines de poudre ou de coton, placées de l'autre côté, n'ont pas été enflammées dans des expériences faites sur 800 mètres cubes de mélange explosif. Quoique les résultats ainsi obtenus par M. Mathet soient encore assez incomplets, ils l'ont néanmoins encouragé à les poursuivre et à perfectionner ce nouvel engin. La Commission, dans sa séance du 17 mars 1880, a émis un avis dans lequel elle se contente de signaler les portes à treillis sans croire cependant devoir leur attribuer une sécurité absolue. On peut craindre notamment, avec M. Chansselle, que dans les mines poudreuses les poussières, en se collant sur la toile, lui enlèvent sa perméabilité et l'exposent ainsi à être crevée, puisqu'elle présentera alors une étanchéité analogue à celle des portes Verpilleux et une résistance incomparablement moindre.

M. Clermont ne paraît pas non plus leur accorder une

---

(1) MATHET : *Étude sur le grisou*, lithographié, 1878, page 106. — *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VII, page 191. — *Comptes rendus mensuels*, septembre 1878, page 187.

confiance sans réserve. Il leur préfère un système de portes du type Verpilleux perfectionné par lui. Sa pensée est de laisser passer la bouffée irrésistible qui précède le feu, simplement déplacée comme avant-garde par la masse embrasée, et de faire plaquer la porte seulement au moment où va arriver la flamme, afin d'en intercepter alors la propagation. A cet effet, il dispose à une distance suffisante de la porte une capsule qui saute dès l'arrivée du feu et déclanche un ressort pour pousser une longue tringle. Celle-ci supprime l'appui qui retient appliquée contre le plafond la porte disposée sur une charnière horizontale. Cette porte tombe dès lors dans la position verticale. Cependant la capsule et les diverses charnières risqueront fort de ne pas se trouver en bon état de fonctionnement au moment critique.

105. — Il faut encore noter parmi les précautions qu'il peut être utile de prendre pour diminuer les conséquences fatales d'une explosion, l'établissement d'échelles dans les puits, lors même que le service des hommes par les cages guidées à parachute est complètement réglementaire. On offrira ainsi un moyen de sortie aux malheureux qui auraient échappé à toutes les chances de destruction, et en même temps on pourra porter des secours par cette voie, si toutes les autres venaient à manquer pour les premiers moments. Les échelles verticales, si pénibles à la vérité pour le service normal, risqueront moins d'être emportées par l'explosion que celles que l'on établit ordinairement, et avec raison, dans une position inclinée.

On doit recommander également de déposer d'avance près du pied des puits tout ce qui peut être dans un pareil moment nécessaire et difficile à descendre ; par exemple des pharmacies portatives combinées en vue de ces circonstances.

On a conseillé aussi de désigner à l'avance les places de refuge jugées les plus avantageuses ; sorte de rendez-vous

donné aux ouvriers des différents chantiers sur le point où l'on saura que l'on doit diriger les secours, à moins de contre-indication du moment même. On a même été jusqu'à y placer des dépôts de vivres renouvelés périodiquement. M. Delahaye a proposé en outre (1) d'y installer des téléphones pour permettre de se mettre immédiatement en rapport avec les hommes qui auraient pu s'y réfugier. Il est bien vrai, malheureusement, que rien ne peut conjurer la chance d'asphyxie si l'invasion des gaz est générale; cependant, sans parler des autres genres d'accidents, tels que le coup d'eau, et même en se restreignant aux explosions, es places de refuge peuvent encore rendre des services.

106. — *Mesures de sauvetage.* — Lorsque le désastre est accompli, le premier soin à prendre est de rétablir l'aérage en activant le ventilateur, s'il a été préservé, ou dans le cas contraire, en employant les moyens qui viennent d'être indiqués. Les ingénieurs descendent avec les maîtres mineurs et ce qui reste de personnel. Si la circulation des cages guidées est devenue impossible, on leur substitue une benne. On avance dans les travaux d'après les progrès de l'aérage, en déblayant successivement les galeries de manière à les rendre praticables, et rétablissant les portes et les barrages les plus essentiels pour la ventilation. On peut se servir d'eau de chaux, de lessive de soude ou de chaux en poudre pour absorber l'acide carbonique. On peut également pénétrer dans les milieux complètement irrespirables au moyen d'appareils spéciaux dont nous parlerons dans un instant.

Si le sens du courant d'air a été renversé par l'explosion, il y a lieu d'apprécier, d'après ce qu'on connaît de la situation des portes, des points où ont dû probablement se réfugier les hommes, de la marche à suivre pour rentrer dans

(1) *Les Mondes*, tome XLII, page 683.

les travaux, etc., l'opportunité qu'il peut y avoir à appuyer dans le même sens pour la ventilation, si les moyens dont on dispose s'y prêtent, ou au contraire, à lutter pour rétablir le courant dans sa première direction. On peut citer tel cas, à la vérité exceptionnel, où il peut même être préférable de ne pas envoyer d'air du tout, dans la crainte de produire des mélanges détonants, en laissant au contraire le grisou s'épuiser et brûler tranquillement (1). Mais ces appréciations sont bien délicates et bien aléatoires.

Rien n'est plus propre à exciter l'admiration que le courage, le dévouement et le mépris complet du danger que montrent ordinairement les mineurs dans ces circonstances. Leur abnégation est entière, et on peut tout attendre d'eux pour essayer de porter au milieu de cette dévastation de dernières et bien faibles chances de salut.

Les blessés et les asphyxiés reçoivent les soins nécessaires. A cet égard, une instruction administrative du 17 février 1813 a indiqué aux exploitants les premières mesures à prendre. Ce document est dû à la plume du docteur Salmade. Il n'est pas douteux que les progrès accomplis par la science médicale depuis trois quarts de siècle, ne motivent une révision de cette monographie. A la demande de la Commission, l'Académie de médecine avait été saisie de ce projet. Mais, pour divers motifs, la question est revenue récemment devant la Commission du grisou, et M. le docteur Regnard, professeur de physiologie à l'Institut agronomique, prépare la rédaction d'une nouvelle instruction.

Le transport des corps exige des précautions spéciales, lorsque la décomposition est déjà commencée. Je citerai ici celles qui ont été employées en dernier lieu pour le sauvetage de Graissessac, en février 1871, par M. l'ingénieur en chef des mines Linder. Grâce à ces mesures de prudence,

---

(1) DOMBRE : *le Grisou*, page 156.

le personnel a pu être complétement préservé de toute atteinte morbide. « On a toujours chassé l'air frais sur les cadavres, de telle sorte que les ouvriers n'en eussent pas les émanations. Les hommes qui transportaient les morts étaient munis de gants trempés dans une dissolution d'acide phénique. Les corps préalablement poudrés de chlorure de chaux et arrosés d'acide phénique, étaient recouverts d'un linceul imbibé de cette même eau et dans lequel ils étaient roulés en évitant le contact immédiat du cadavre. Le linceul était attaché aux deux extrémités, et le tout était placé dans un cercueil préparé d'avance à portée. Tous les ouvriers étaient pourvus, d'après le système Tyndall, d'un masque de coton rame retenu par un mouchoir, le tout imbibé d'eau phéniquée et ne resservant jamais deux fois(1). »

107. — *Appareils respiratoires.* — On a imaginé divers appareils pour pénétrer dans les milieux impropres à la respiration. On ne doit pas perdre de vue à cet égard que, d'après les expériences de Lavoisier, souvent répétées depuis et reliées maintenant à la théorie mécanique de la chaleur, le corps de l'homme consomme plus d'oxygène quand il s'agit de développer du travail que lorsqu'il est en repos : 24 litres par heure au repos et à jeun, 91 dans le travail et pendant la digestion (2). Nous ne parlerons ici, d'ailleurs, que des moyens de respirer dans le mauvais air et non sous l'eau, ces derniers étant étrangers au sujet qui nous occupe.

Les premiers de ces appareils ont été proposés par Pilâtre des Rosiers (3) en 1785, et par Humboldt (4) au commencement de ce siècle. Le tube respiratoire de Pilâtre des

---

(1) *Compte rendu mensuel*, août 1877, page 5.

(2) De Place : Pièces annexées aux procès-verbaux, page 44.

(3) Citoyen Macquart : Cure des asphyxiés (*Journal des mines*, tome III, page 146).

(4) Héron de Villefosse : *Richesse minérale*, page 136.

Rosiers a servi de point de départ au respirateur anti-méphitique de Delaunaye. Deux soupapes permettent l'inspiration de l'air pur envoyé du dehors par un tube flexible, et l'expiration de l'air des poumons. Le nez reste serré dans une pincette (1). M. Fayol a pu, à l'aide de tubes analogues perfectionnés par lui, faire travailler des hommes jusqu'à la distance d'environ 100 mètres de l'origine de la conduite d'air. La durée n'est pas limitée *en principe*. On remarquera qu'il est nécessaire de supposer un moyen quelconque d'éclairage. La difficulté la plus essentielle inhérente à tous ces tubes consiste dans le défaut d'étanchéité du pavillon appliqué sur la bouche pour empêcher toute infiltration du mauvais air.

M. Tyndall a proposé un masque muni d'un tube respiratoire, destiné à permettre de pénétrer dans la poussière ou la fumée. Une masse d'ouate arrête les corpuscules. Dans la mine de lignite de Guben, des ouvriers ont pu travailler pendant vingt minutes à la construction d'un barrage pour un incendie, dans des conditions qui eussent été impraticables sans cet appareil.

On peut citer également dans cet ordre d'idées le *respirateur* du docteur Stenhouse (2), au charbon imbibé de glycérine pour permettre de pénétrer dans des endroits infects. Le capitaine Schaw a imaginé aussi des appareils dérivés de celui de M. Tyndall. M. Roberts (3) dispose dans son respirateur une boîte métallique de trois décilitres, renfermant une éponge imbibée d'eau de chaux ou de potasse pour arrêter l'acide carbonique. Mais cet appareil, peu efficace par lui-même, a en outre le défaut d'attaquer les poumons. MM. Malher et Ehrenbach ont de leur côté envoyé à l'exposition de Vienne un respirateur formé de

(1) *Annales des mines*, 1re série, tome X.

(2) Note sur les conditions de la vie, etc., par M. de Place (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome II.

(3) *Traité d'exploitation des mines*, de Serlo, tome II, page 366.

laine, charbon et glycérine. Les orifices étroits de ces divers appareils fatiguent beaucoup la respiration. M. Fayol indique un diamètre d'un centimètre comme un minimum indispensable (1).

M. Galibert est l'auteur d'un système fort connu, dans lequel le tube respiratoire est mis en rapport avec un réservoir que l'on porte sur le dos comme une hotte. Il puise l'air frais à la base de cette outre. Les clapets sont supprimés à cause de la gêne qu'ils opposent à la respiration. On doit porter la langue alternativement sur l'un et l'autre des deux orifices d'une embouchure d'ivoire placée dans la bouche pour recevoir l'air pur par l'un et renvoyer par l'autre l'air chaud et vicié dans un tube qui le conduit au sommet du réservoir, afin qu'il se mélange aussi peu que possible avec le reste du contenu. On peut respirer ainsi pendant 15 à 20 minutes (2). Mais une telle combinaison présente évidemment ce défaut capital que l'air se vicie progressivement sans que l'ouvrier en soit averti autrement que par son malaise, et qu'il devient tout à fait mauvais quand l'homme est au bout de ses forces et a besoin de toute sa présence d'esprit pour effectuer son retour. En outre, la manœuvre de la langue constitue une difficulté de plus, surtout si le trouble et l'inquiétude s'emparent de l'ouvrier. Bien souvent on supprime cette manœuvre, et l'usage de l'appareil en est encore rendu plus défectueux.

M. Brane a disposé un organe analogue, qui diffère du précédent en ce qu'il est muni de soupapes (3).

Le *respirol*, de M. Léard, figurait à l'Exposition universelle de 1878.

Dans l'*aérogène* Schultz d'Aschaffenbourg, il y a renouvellement de l'oxygène par la réaction de l'acide acétique

(1) M. de Place : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome II, page 753.

(2) *Annales des mines*, 6e série, tome V.

(3) *Leitfaden zur Bergbaukunde*, par Serlo, 1878.

sur le permanganate de potasse, et absorption de l'acide carbonique par la potasse caustique. L'appareil, qui pèse 4 kilogrammes, peut servir pendant 20 à 30 minutes (1). M. Schwann avait pensé de même à faire passer de l'air sur du peroxyde de barium hydraté; mais on déterminait par là une production d'ozone qui attaquait les poumons (2).

Depuis lors, M. Schwann a substitué à ce moyen l'emploi de l'oxygène comprimé, en absorbant l'acide carbonique au moyen de la chaux hydratée imprégnée d'une solution de soude caustique.

Depuis longtemps, d'ailleurs, Combes avait proposé l'emploi, non pas de l'oxygène, mais de l'air comprimé. On le trouve réalisé dans l'appareil de M. Kraft, ingénieur autrichien (3). La tête de l'ouvrier est enveloppée dans une jaquette en cuir serrée à la ceinture; de grandes lunettes en verre pratiquées dans cette jaquette permettent de voir. Un réservoir porté sur le dos contient 10 à 12 litres d'air comprimé à 15 ou 20 atmosphères. On ouvre le robinet d'un tube qui admet l'air sous la jaquette et y forme une atmosphère dans laquelle l'homme respire. Un petit sifflet fonctionne par l'échappement du gaz, et sa tonalité qui baisse avec la pression indique l'état d'avancement de la provision d'air, afin qu'on puisse battre en retraite en temps utile.

Dans l'*aérophore* Rouquairol-Denayrouze on emploie également le réservoir d'air comprimé à 20 ou 30 atmosphères. Mais on substitue à la jaquette embarrassante de l'appareil Kraft un tube respiratoire avec pince-nez. Pour obtenir plus de puissance encore, on a disposé un chariot bas portant des réservoirs métalliques d'air comprimé en quantité beaucoup plus notable que celle qu'un homme

(1) *Revue universelle*, de Cuyper, 1er volume de 1877, page 151.
(2) *Ibidem*, page 147.
(3) *Leitfaden zur Bergbaukunde*, par Serlo, 1878.

peut porter sur le dos. Si l'encombrement le permet, ce qui est malheureusement un des côtés faibles de ce système, on roule le chariot jusqu'au point le plus convenable, et les hommes s'avancent à partir de là autant que le permet le développement de leurs tuyaux de conduite (1). Un régulateur a pour but d'uniformiser le débit de l'air comprimé qui alimente à la fois la respiration de l'ouvrier et la combustion d'une lanterne.

On peut cependant considérer l'emploi de l'air à haute pression comme une erreur de principe, résultant d'une fausse assimilation avec les conditions d'emploi du scaphandre (2) qui se trouve placé par la nature des choses sous une pression hydrostatique impossible à éviter. Ici on s'impose gratuitement les inconvénients qui résultent du poids, de l'encombrement et du prix d'un réservoir capable de résister à cette pression élevée.

Il y a lieu du moins de penser que les importantes recherches de M. Bert sur les conditions de la respiration dans l'air comprimé et sur le rôle propre de l'oxygène, pourront servir de point de départ à d'utiles améliorations de ces divers appareils. Ajoutons, du reste, qu'une entente s'est établie entre MM. Fayol et Denayrouze pour une exploitation commune de l'appareil précédent et de ceux qu'il me reste à décrire.

Les appareils Fayol sont au nombre de deux. Le premier est portatif. Il a la forme d'un soufflet carré pesant 8 kilogrammes et porté sur le dos. Il suffit de relever le fond pour le remplir de 180 litres d'air, manœuvre beau-

---

(1) Rapport de M. Bussy, concluant à un prix de 2.500 francs. (*Compte rendu de l'Académie des sciences*, t. LXXXI, page 1362.)

Zeitschrift für das Berg Hütten und Salinenwesen, tome XVI, page 302.

Bulletin de la Société de l'industrie minérale, 2e série, tome II, pages 139 et 735.

Des Aérophores, brochure par M. Denayrouse.

(2) De Place : Pièces annexées aux procès-verbaux, p. 45.

coup plus rapide que le remplissage des anciennes outres. Le poids de son couvercle tend à le refermer en faisant écouler l'air à travers un tube respiratoire muni de petites soupapes en caoutchouc extrêmement légères. Un second appareil reste fixe, une fois qu'il a été transporté au chantier. Six hommes sont reliés au distributeur par leurs tubes respiratoires. On y envoie l'air à l'aide d'une petite pompe, de telle sorte que la durée n'est plus limitée, *en principe*, comme dans les appareils qui ne renferment qu'une quantité d'air déterminée. Les ouvriers sont munis, dans les deux cas, d'une grosse bougie enfermée dans une lanterne de verre qui reçoit aussi l'air par un tube; on peut parfaitement l'agiter sans l'éteindre, puisque son atmosphère confinée ne prend par là aucun mouvement relatif de nature à déplacer la flamme. C'est à dessein que l'auteur a substitué aux grandes pressions des appareils précédents la faible compression donnée par la pompe et qu'il regarde comme favorable à la respiration. Une Commission d'étude a expérimenté avec ces engins à Commentry et a conclu qu'ils présentaient une grande supériorité sur les appareils antérieurs comme simplicité, sécurité et économie (1). De nouvelles expériences faites à la Voulte ont été également l'objet d'un rapport favorable de M. Marey (2). Il faut dire toutefois que dans un sauvetage effectué à Beaubrun, deux accidents ont montré le danger qu'il y a à atteler plusieurs hommes sur un même distributeur (3). Dans les expériences exécutées pour la Commission par M. Regnard dans les mines de Commentry, les appareils Fayol lui ont paru supérieurs à tous les autres. Il a trouvé particulière-

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. II, page 735, rapport de M. DE PLACE.

(2) Association française pour l'avancement des sciences. Congrès de Lyon, 1873.

(3) *Annales des mines*, 7e série, tome VII, page 171. — *Revue universelle*, de CUYPER, 1er volume de 1877, page 146.

ment le système à soufflet plus rapide que l'appareil à tubes pour sa mise en train au moment de l'action.

Dans l'emploi des appareils de sauvetage, M. Grand-Eury conseille de ne procéder que par courtes avancées de 15 à 20 mètres avec barrages successifs, sous peine de ne pouvoir, en s'éloignant trop, rapporter un homme qui tombe. Quand il s'agit, non plus d'accidents, mais de travaux d'incendies, on peut se montrer plus large, et M. Baretta a indiqué pour ce cas 40 à 50 mètres. M. Dombre réclame avec raison des exercices périodiques, destinés à faire sous ce rapport l'éducation des chefs ouvriers et à maintenir les appareils en bon état. Il y a lieu, du reste, de distinguer l'emploi de ces organes pour le travail normal des incendies, lequel donne de bons résultats, de celui qui doit être accompli dans le trouble et la confusion d'un sauvetage.

§ XX. — INCENDIES SOUTERRAINS.

108. — *Causes d'incendies.* — La question des incendies souterrains ne saurait être passée ici sous silence, car l'échauffement qui en est la conséquence se relie aux dégagements des gaz de la houille et à leur inflammation. En outre, les feux intérieurs peuvent influencer l'aérage naturel et gêner la ventilation artificielle (1). M. Petitjean a souvent remarqué, lorsqu'il était ingénieur en chef des exploitations de la compagnie de Blanzy, que le grisou ne se montrait que dans les parties fraîches et non dans le

(1) On consultera avec fruit la notice de M. Nesterowsky : Incendies dans les houillères, procédés employés pour les prévenir et les éteindre (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VII, page 839), et surtout l'excellent travail de M. Fayol inséré dans le même bulletin et qui peut être considéré comme un véritable traité de la matière.

voisinage des feux. Il l'attribuait à ce que la chaleur de ces derniers activait le renouvellement de l'air.

Les incendies peuvent être dus à la malveillance ou à un simple accident, tel que la chute d'une lampe ou d'une flammèche sur la paille de l'écurie, un coup de mine débourré, un soufflard allumé par une explosion de grisou, les étincelles d'un foyer d'aérage ou d'une chaudière intérieure mal disposés. On a mis également en avant la transformation en chaleur de l'énorme travail mécanique accompli dans la descente du terrain sur les remblais ou par le fait de l'éboulement. Si le mouvement s'opère uniformément, l'effet sera insignifiant, attendu qu'en même temps qu'il est proportionnel à la masse en mouvement, il se répartit sur cette même masse pour en déterminer l'élévation de température. Mais quand il s'opère des porte-à-faux et des transmissions de pression de nature à concentrer sur des points limités le travail accompli dans des régions plus étendues, il est évident qu'on est alors exposé à des résultats calorifiques dignes d'être pris en considération (1). Des effets de ce genre ont été observés notamment au puits Mars, de Saint-Étienne (2). M. Clermont pense que des masses d'air confinées dans des espaces étanches et qui viennent à être subitement comprimées par des tassements brusques peuvent aussi s'échauffer comme le briquet à air et provoquer l'inflammation de la houille. La conclusion qui se dégage de ces observations doit être de se préoccuper, dans les méthodes d'exploitation, d'assurer autant que possible la régularité des tassements du toit, en évitant les coups de charge désordonnés. Une trop grande activité de l'exploitation peut aussi devenir fâ-

(1) Haton de la Goupillière : *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome XVII, page 322.

(2) Nesterowsky : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2ᵉ série, tome VII, page 840.

cheuse, suivant M. Petitjean (1), en accumulant les effets thermiques sans leur donner le temps de se dissiper peu à peu par le refroidissement. La cause la plus fréquente d'incendie réside dans le combustible lui-même, trop souvent susceptible de s'échauffer spontanément. L'oxydation des pyrites ou de certaines substances organiques en est souvent l'origine. Le contact de l'air est alors nécessaire. Aussi n'est-ce que parmi les menus et dans les charbons ou les schistes qui ont joué sur des remblais que ces faits se produisent, particulièrement avec les houilles à longue flamme. D'un autre côté, certaines dissociations de carbures donnant naissance à du grisou peuvent y avoir aussi une part. M. Richters énonce même que, dans certains gîtes, ce sont les charbons qui renferment le moins de soufre que l'on voit offrir le plus de prise à la combustion spontanée (2). M. Forster fait remarquer que, dans le Staffordshire, c'est la couche de 30 pieds, c'est-à-dire la plus pure, que l'on voit s'embraser le plus souvent (3). M. Sauvage fait du reste observer avec raison que cette circonstance peut être attribuée en partie à la méthode d'exploitation bien connue qui est employée pour cette couche puissante. M. Fayol a fait la même observation à Commentry : la partie la plus inflammable y est précisément la moins pyriteuse.

On admet aussi que la présence de l'oxygène dans la houille, constatée dans un certain nombre des analyses qui ont été rapportées plus haut, peut être capable d'activer l'inflammation (4). M. Blackwell en trouve 16 à 17

---

(1) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale :* Congrès de Douai.

(2) Pattinson : *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 118.

(3) *Ibidem*, page 119.

(4) A. Burat : *Encyclopédie des sciences, des lettres et des arts*, page 205.

p. 100 dans des charbons inflammables du Staffordshire, de Moira, etc. (1). La condensation de l'oxygène dans les poussières fines de charbon a aussi été signalée comme propre à préparer l'échauffement et l'embrasement.

109. — *Précautions contre les incendies.* — Pour toutes ces raisons, on apporte des soins spéciaux lorsque les charbons sont susceptibles de s'échauffer à leur emmagasinage sur les carreaux de mines ou dans les usines à gaz. On ne les dispose que sur une hauteur modérée. A Commentry, on n'a jamais d'incendies sur les haldes pour des épaisseurs de menu moindres que 2 mètres, et il en survient presque toujours si la hauteur dépasse 4 mètres. Parfois on ménage dans la masse des chemins d'air au moyen de caniveaux ménagés avec du gros ou en y insérant des fascines. Ces dernières présentent le grave inconvénient de s'oblitérer par places, ce qui arrête la vitesse rafraîchissante sans supprimer absolument l'accès de l'air. On se trouve alors dans les plus mauvaises conditions, et cette pratique détermine souvent le feu à Commentry. Aux estacades de Rieu-Kaisin, en Belgique, on emploie des colonnes creuses pour supporter les planchers sous lesquels s'accumule le charbon. Elles sont percées de trous par lesquels on injecte de l'air. Une petite porte ménagée à la partie inférieure sert à retirer les poussiers qui s'introduisent par ces trous.

La question de l'échauffement a été étudiée avec un soin particulier en Angleterre et au congrès international d'hygiène et de sauvetage tenu à Bruxelles en 1876, en vue des incendies qui éclatent en mer par la combustion spontanée des soutes à charbon (2). Le désastre marche quelquefois avec une rapidité extraordinaire, et on a vu le feu éclater

(1) Blackwel : *Transactions of the North*, etc., tome X, page 168.
(2) *Comptes rendus mensuels*, avril 1879, page 99.

cinq jours après un moment où le thermomètre n'avait constaté aucune élévation de température (1). La chaleur des tropiques contribue évidemment à activer ces influences. L'échauffement s'accompagne de dégagements gazeux, et l'emploi des lampes de sûreté est alors indispensable (2). M. Fayol pense que toutes les houilles même non grisouteuses s'échauffent dans les cales et dégagent alors du gaz (3). Il propose de faire un essai en grand en chauffant le charbon à 100 degrés et le disposant en tas de 2 mètres. Si alors, au lieu de continuer à s'échauffer de lui-même, il se refroidit, on peut le considérer comme assuré contre l'incendie spontané. Il est bon, du reste, d'employer autant que possible du gros sans menu dans ces chargements. En 1873, un relevé fait sur 1.135 navires a montré des cas d'incendies sur 2 p. 100 d'entre eux. En 1874, sur 1.244 vaisseaux, la proportion a atteint 4 p. 100 (4). Elle augmente avec le tonnage du navire et la durée du trajet.

On s'est demandé si, à ce point de vue, il était préférable d'aérer ou non les cales. On a observé des feux dans les deux modes. On peut admettre, en tout cas, que l'absence d'aérage vaut mieux qu'une mauvaise ventilation. Le docteur Percy et le professeur Abel sont opposés à l'accès de l'air, à cause des pyrites. Quand on adopte l'opinion contraire, on dispose à fond de cale, avant l'embarquement, des conduits horizontaux en bois percés de trous que l'on relie à une manche à vent. Il serait bon aussi de charger en couches minces sur des diaphragmes ventilés

(1) Prevention of spontaneous combustion of coal at see. (*Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 131.)

(2) COOPER RUNDELL (*Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 131).

(3) *Comptes rendus mensuels*, août 1879, page 177. — *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VIII, page 286.

(4) *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 133.

par-dessous (1). Dans les vaisseaux de guerre, on ménage au milieu du charbon des tubes renfermant des thermomètres. On emploie aussi des tiges de fer qui avertissent par leur conductibilité. En cas d'échauffement, on vide la soute; si le feu se déclare, l'eau en quantité limitée a peu d'efficacité et peut même être nuisible. La vapeur a également peu d'action (2), et on en peut dire autant de l'acide carbonique (3).

Dans les mines, on est mieux armé pour lutter contre ce danger redoutable. On doit avant tout, comme moyens préventifs, s'attacher autant que possible à enlever complètement le charbon, les menus et même les schistes inflammables du toit et du mur. La méthode d'exploitation doit être combinée de manière à fatiguer le combustible aussi peu que possible et pendant la durée minima. La méthode verticale forme la dernière expression de cet ordre de préoccupations (4). Dans la méthode par tranches horizontales, si l'on passe sous le remblai en adoptant l'ordre descendant, la terre grasse convient bien comme remblai, car, en même temps qu'elle se tient convenablement en couronne, elle forme un rempart étanche contre les feux supérieurs. Avec l'ordre ascendant, en montant sur le remblai, on doit préférer les matières qui présentent le moindre tassement pour ne pas fatiguer le massif supérieur et le prédisposer à l'incendie. Si on exploite par foudroyage du toit en plusieurs tranches inclinées, dans l'ordre

(1) M. Barrow, directeur du Bureau Veritas de Bruxelles, donne la statistique suivante pour 1874 :

NOMBRE de cargaisons.	TONNAGE en tonnes.	NOMBRE de semestres.	PROPORTION en centièmes.
2.169	inférieures à 500	5	0,25
1.501	500 à 1.000	17	1,00
490	1,000 à 1.500	17	3,50
308	1.500 à 2.000	14	4,50
77	supérieures à 2.000	7	9,00

(2) GLOVER : *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 122.

(3) *Ibidem*, page 124.

(4) M. COLRAT : *Compte rendu mensuel*, etc., avril 1877.

descendant, il est bon, contrairement à l'ancienne pratique, de rentrer le plus tôt possible sous les éboulements, afin de les rafraîchir par une nouvelle tombée avant d'avoir le feu sur la tête. Lorsqu'un quartier s'échauffe, on le recoupe par quelques larges voies d'air pour en modifier la température. On doit surtout éviter autant que possible, dans ce cas, l'accès de l'air dans les vieux travaux, de peur d'y favoriser la fermentation. A Moira, dans le Leicestershire, où l'on n'enlève qu'un banc de houille compris entre deux autres de mauvaise qualité, on a soin d'isoler les massifs de remblais par des murs d'argile plastique que la pression serre ensuite et rend tout à fait étanches (1).

110. — *Extinction des incendies.* — On est averti du commencement d'un incendie par une odeur empyreumatique spéciale qui n'a rien de désagréable et que les hommes appellent le *goût fin*. Ensuite apparaissent des fumées âcres, l'élévation de température, etc. Parfois, d'après M. de Verneuil (2), la nature du combustible est telle que ces commencements ne se développent pas et qu'après la formation d'une croûte de coke d'une certaine épaisseur le foyer s'étouffe de lui-même.

Quand le feu est déclaré, on peut, comme à la Grand'-Combe, à Beaubrun, à Commentry, etc., lutter directement contre lui par la méthode de l'arrachage. On emprunte pour cela le secours de lances d'eau à plusieurs atmosphères, pression qu'il est souvent facile de se procurer dans la profondeur. Ce travail est l'un des plus pénibles que puisse présenter l'art des mines, mais il permet d'arriver à détruire les foyers au lieu de se borner à les circonscrire. On avance peu à peu avec des barrages successifs, et autant que possible par recoupes étroites, plus faciles à barrer. Si le feu gagne

(1) *Transactions of the North*, etc., tome X, page 163.
(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, page 84.

en hauteur, on l'attaque de préférence par-dessous. Ces travaux réclament un bon aérage pour l'hygiène des hommes. Parfois, en Silésie, on donne des coups de sonde à partir de la surface pour ménager la sortie des gaz en y réglementant le tirage de peur d'activer la combustion. On gagnera souvent sur la durée totale en commençant par employer un peu de temps à améliorer les conditions locales de la ventilation, parce que le rendement des piqueurs s'en ressentira ensuite d'une manière favorable. Il ne faut pas du reste employer un excès d'air inutile qui ne ferait qu'activer l'incendie. Cependant, quand on peut espérer rafraîchir un simple échauffement, on n'y doit pas manquer. On avait poussé cet abaissement de température, à la mine de Gerhardt (Sarrebruck), jusqu'au point d'incommoder les ouvriers (1).

Si le feu prend beaucoup de développement et marche plus vite que l'arrachage (2), on n'a plus que la ressource d'étouffer l'incendie. Il faut pour cela cerner le foyer du plus près possible par des barrages bien étanches en moellons, ou mieux en briques en cherchant minutieusement et aveuglant toutes les fissures. Nous avons vu que, pour faciliter cette opération, il est bon, dans certains cas, de pouvoir renverser à volonté le courant d'air. Nous avons reconnu également l'avantage que l'on trouve, en vue de conserver des communications sûres, à placer les maîtresses-voies dans le rocher ou dans une couche distincte parallèle et moins inflammable.

Les barrages sont ordinairement des murs épais. A Aubin, à Beaubrun, on se défend du feu pendant un temps assez long au moyen d'un rempart provisoire pour établir par derrière des défenses plus durables, ou simplement des

(1) NESTEROWSKY : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, tome VII, page 854.

(2) SYROCZINSKI : *Revue universelle*, de CUYPER, tome XXXIX page 375.

portes prêtes à étancher si le premier barrage vient à crever. Celui-ci est formé de planches de peuplier clouées horizontalement sur des montants avec un lut argileux. M. Nesterowsky donne sur la confection des barrages des détails minutieux auxquels il sera intéressant de se reporter. On soulage parfois ces ouvrages en y ménageant des tampons mobiles et injectant de l'eau par ces trous quand la paroi devient chaude à la main. La nature du toit apporte suivant les cas une gêne ou un secours notables pour ces opérations. Un toit casuel tamise l'air en se tassant, un toit friable arrive mieux à l'étanchéité.

M. Domage, directeur des mines de la Compagnie du Creusot dans le bassin de Brassac, fait remarquer que la chaleur des feux fait distiller la houille dans le voisinage et peut amener des dégagements de gaz combustible là où le grisou ne se montre pas naturellement. Il conseille par suite de ne visiter qu'avec des lampes de sûreté les barrages de défense contre les incendies et de n'établir dans de pareilles mines des foyers d'aérage qu'avec les précautions usitées pour les gîtes grisouteux.

Lorsqu'on a à boucher un puits pour circonscrire un incendie, on a soin de ménager à travers ce diaphragme un siphon pour éviter l'accumulation des eaux sur la plate-cuve. On arrive ainsi à les évacuer d'une manière intermittente dans le dessous, lorsqu'elles atteignent le niveau qui amorce spontanément le siphon.

Dans certains cas, on fait en grand la part du feu en déhouillant, quand le temps le permet, une tranche horizontale ou un massif vertical et les remplaçant par une masse de remblai argileux et étanche qui arrête la propagation de l'incendie lorsque celui-ci en atteint la surface. Ce moyen a réussi en 1865 à Commentry après des tentatives infructueuses de toutes sortes.

Les feux intérieurs ainsi confinés ont parfois une durée excéssivement longue. On en pourrait citer de nombreux

exemples. A Planitz, en Saxe, l'on trouvait encore en 1861 des vapeurs et un sol brûlant sur un point qu'Agricola signalait dans le XVII[e] siècle comme étant en feu depuis un temps immémorial. En Russie, il existe sur plusieurs points du bassin de Kounietsk des incendies dont l'origine se perd dans la nuit des temps. Le *volcan* à Aubin occupe au jour une superficie de plus de 700 mètres carrés.

Les feux souterrains produisent parfois les résultats les plus curieux, tels qu'une végétation des pays chauds, un métamorphisme complet des roches, la formation de certaines espèces minérales, l'irisation du charbon en teintes variées et très belles par un peu d'oxyde de fer, des dégagements gazeux extrêmement complexes. M. Mayensen a traité ce sujet avec développements (1).

112. — Quand l'incendie devient complètement général, on peut encore avoir recours à quelques ressources extrêmes. En premier lieu, un calfeutrage complet, comme à la mine Wynnstay, dans le pays de Galles, en 1874 (2). Après avoir bouché tous les puits, on attendit le coup de grisou, qui devait fatalement avoir lieu lorsque, par son dégagement progressif, le gaz aurait formé avec l'oxygène enfermé dans les travaux la proportion explosible. Il se produisit, en effet, après soixante-douze heures et déboucha tous les puits. Mais on put les refermer sans nouvelles explosions en l'absence d'oxygène. Au bout de quatre mois, on rentra dans la mine en remplaçant les lampes par des réflecteurs et employant une série de moyens remarquables dont la description ne saurait trouver place ici.

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXXXVI, page 491, 18 février 1878.

(2) *Iron and steel institute*, 5 mai 1875.

GAUTHIER : *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2[e] série, tome IV, page 657.

Compte rendu mensuel, etc., décembre 1875, page 4.

On a eu recours en second lieu à l'acide carbonique, par exemple pour cette même mine de Wynnstay, dans laquelle on a lancé environ 6.000 mètres cubes de ce gaz en vue d'activer l'extinction. On s'est également servi de ce procédé à l'Agrappe (couchant de Mons) en 1844, à Astley (Écosse) en 1849, à Blackbroock près de Liverpool, à Westminster près de Brynle, à Clarkmannan en 1851 (1). On a employé pour cela soit l'action de l'acide chlorhydrique sur la craie, soit plus simplement des foyers de coke.

La vapeur d'eau a servi également à la fois comme un rafraîchissant relatif, eu égard aux températures élevées de l'incendie, et comme fournissant un milieu impropre à la combustion. Ce moyen a fonctionné pendant soixante-dix heures à Saint-Mathieu (Loire) en 1857 et dans la houillère de la Wilkesbare durant près d'un an (2).

Enfin un moyen extrême consiste à noyer la mine, sauf à épuiser ultérieurement les eaux. A Decazeville, on cherche parfois à atteindre de la surface, au moyen d'un coup de sonde, les *cathédrales*, anciennes cloches embrasées, puis on y injecte de l'eau argileuse qui, tout à la fois, éteint le feu et bouche les fissures. Cet embouage a été également pratiqué avec succès par M. Fayol à Commentry.

Parfois la mesure est générale, et on détourne un cours d'eau pour le déverser dans les travaux. A Patercroft, près de Bolton, on a fait entrer la rivière Douglas dans la mine; à Boubier, dans le district de Charleroi, les eaux de la Sambre; à Idria, la rivière Idrickza pendant quarante-huit heures (3); dans la mine d'anthracite de Lykem Valley, la rivière Bear-Cruck. La mine de Commentry a été inondée en 1819, 1840, 1844 et 1853. Les travaux d'Al-

(1) GLOVER : *Transactions of the North*, etc., tome XXV, page 122.
(2) *Annales des mines*, 7ᵉ série, tome VII, page 226;
Iron, etc., 16 janvier 1875;
Les Mondes, tome XXXXVII, page 310.
(3) HÉRON DE VILLEFOSSE : *Richesse minérale*, page 351.

maden l'ont été en 1758, après un incendie qui avait duré deux ans et demi. Parfois on n'a pas besoin de détourner les cours d'eau si le feu se trouve dans le fond d'une mine très aquifère. Il suffit de laisser monter les eaux en arrêtant les machines d'épuisement, ou d'établir un serrement dans la galerie d'écoulement. Ce cas s'est présenté, par exemple, dans la troisième couche du bassin de la Loire. Après avoir noyé le fond, on a baissé progressivement les eaux en exploitant en vallée, de peur de rallumer la houille.

M. Chansselle fait observer qu'on ne peut pas toujours, même en noyant une mine, être assuré d'éteindre les feux. Les causes d'inflammation peuvent se réveiller rapidement; une cloche d'air comprimé peut empêcher le contact de l'eau avec le charbon en ignition, etc. Il a cité, parmi diverses preuves à l'appui, un feu de la Malafolie (Firminy), qui, noyé depuis dix-huit ans, reprit son activité moins d'une heure après avoir été débarrassé des eaux.

---

112. — Conclusion. — Parvenu au terme de ce rapport, je ne saurais me dissimuler qu'il a atteint des proportions excessives. J'ai apporté, cependant, un soin attentif à le condenser autant que possible et à ne traiter chaque point que de la manière la plus succincte, en indiquant en même temps les sources où l'on pourrait trouver des développements plus étendus. Un certain nombre d'inventions surannées ou chimériques ont trouvé place dans ce travail. J'ai pensé, en effet, que la mention d'une erreur peut avoir son utilité en empêchant de la voir renaître et en imprimant aux esprits investigateurs une direction meilleure et plus féconde. Lorsqu'au contraire une mesure présente quelque efficacité, je me suis toujours attaché à le faire ressortir. *On ne doit, en effet, rien négliger lorsqu'il s'agit de combattre le grisou.*

aucun esprit pratique n'attendra le succès, en pareille matière, de la découverte d'une panacée unique, mais bien de l'exacte observance d'un grand nombre de moyens de détail, en même temps que des règles tout à fait essentielles. A la vérité, ces diverses indications se trouvent, comme il était inévitable dans un exposé méthodique, disséminées d'un bout à l'autre de mon travail. Il resterait donc, pour terminer, à formuler *les conclusions de ce rapport*, en groupant ensemble les énoncés utiles dégagés des preuves à l'appui. Je n'aurais pas manqué d'entrer dans cette voie, si ce n'eût été évidemment faire double emploi avec la publication qui est l'œuvre directe de la Commission elle-même, sous le titre de : *Principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou*. D'après cela, le rapport actuel peut être considéré en quelque sorte comme un essai de traité didactique du grisou, et ses conclusions immédiatement applicables à la pratique journalière se trouveront résumées dans le document dont je viens de parler. Lorsque ce dernier texte aura paru à son tour sous sa forme définitive dans les *Annales des mines*, et qu'il aura été accompagné des rapports détaillés destinés à insister sur les points qui ont été l'objet spécial des expériences de la Commission, celle-ci pourra se considérer comme ayant résumé son œuvre de ces deux dernières années. Elle n'a pas un seul instant nourri l'espoir déraisonnable de soustraire définitivement le mineur au danger du grisou, pas plus que le marin ne le sera jamais aux chances de naufrage. Mais s'efforçant, dès l'abord, d'apprécier sainement ce qu'il y avait de réalisable dans le but élevé proposé à ses efforts : l'amélioration des conditions de sécurité d'un personnel qui commande autant l'intérêt que celui de l'industrie souterraine, elle n'a rien négligé pour chercher à y parvenir.

20 juillet 1880.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

PROPRIÉTÉS DU GRISOU.

DEUXIÈME PARTIE.

MOYENS PRÉVENTIFS EMPLOYÉS CONTRE LE GRISOU.

§ XV. — **Réglementation.**

§ XVI. — **Éclairage.**

§ XVII. — **Moyens de reconnaître la présence du grisou.**

TROISIÈME PARTIE.

MOYENS EMPLOYÉS POUR REMÉDIER AUX ACCIDENTS.

§ XVIII. — **Coups de feu.**

§ XIX. — **Sauvetage.**

§ XX. — Incendies souterrains.

COMPTE RENDU DES EXPÉRIENCES

ENTREPRISES AU CHEMIN DE FER DU NORD

POUR L'ESSAI COMPARATIF

DU FREIN A EMBRAYAGE ÉLECTRIQUE DE M. ACHARD

ET DU FREIN PNEUMATIQUE DE M. SMITH

Par M. E. VICAIRE, ingénieur des mines,
Attaché au contrôle des chemins de fer du Nord.

La Compagnie des chemins de fer du Nord est une de celles qui se sont toujours préoccupé le plus sérieusement des moyens d'arrêter rapidement les trains; aussi a-t-elle mis à l'étude, depuis plusieurs années, la question des freins continus. Parmi les divers systèmes, deux lui ont paru mériter plus spécialement de faire l'objet d'expériences en grand : ce sont le frein à embrayage électrique de M. Achard et le frein pneumatique de M. Smith (frein à vide).

Chargé par M. l'inspecteur général Meissonnier, directeur du contrôle de cette Compagnie, de suivre ces expériences, j'ai, pendant longtemps, observé le fonctionnement des deux freins, j'ai assisté à un grand nombre d'essais, j'ai consulté les observations faites par le personnel de la Compagnie, et j'ai pu ainsi, dans le rapport que j'ai adressé à l'administration, et dont ce qui suit est la reproduction textuelle, à quelques lignes près, résumer un assez grand nombre de faits de nature non seulement à renseigner sur le mérite et les conditions de fonctionnement des deux appareils dont il s'agit, mais peut-être à jeter quelque jour sur l'importante question des freins continus en général.

C'est pour moi un agréable devoir de remercier ici la Compagnie du Nord en la personne de M. Ed. Delebecque, ingénieur, chef du matériel et de la traction, de la libéralité avec laquelle elle a mis à ma disposition tous les documents et s'est prêtée à toutes les expériences que j'ai demandées. Je dois des remercîments tout particuliers à M. l'ingénieur Banderali, inspecteur du service central du matériel et de la traction : c'est par lui que tous les renseignements m'ont été communiqués, c'est en commun avec lui qu'ont été faites presque toutes mes observations, et je suis grandement redevable à l'échange de vues continuel auquel a donné lieu cette amicale collaboration.

Depuis la date déjà un peu éloignée de mon rapport (10 mars 1879), la Compagnie a continué ses études sur le frein à vide, qu'elle a définitivement adopté et auquel elle a donné une extension déjà considérable. M. Achard, de son côté, a repris ses essais au chemin de fer de l'Est, en apportant à son appareil des modifications importantes. J'ai pu mettre à profit ces travaux, et j'en ai fait l'objet de notes placées à la suite de mon étude première.

Les deux freins qui font l'objet de ce travail sont, l'un et l'autre, des freins *continus* ou *à transmission*, c'est-à-dire des freins susceptibles d'être installés sur tous les véhicules d'un train et mis en action simultanément par une manœuvre simple, telle que celle d'un robinet ou d'un commutateur, opérée en un seul point du train. Le ralentissement est produit par des freins ordinaires à sabots. Ce qui caractérise les inventions dont nous avons à nous occuper, c'est la manière dont ces freins sont serrés ou desserrés tous à la fois par une action produite à distance.

Les deux systèmes ont été installés l'un et l'autre, vers le mois de juillet 1876 (*), sur deux trains, l'un de 11 véhi-

(*) Le frein Achard a même été expérimenté dès la fin de 1875, mais non sur un train complet.

cules (frein Achard), l'autre de 12 (frein Smith), qui ont circulé depuis cette époque d'une manière régulière; quelquefois un certain nombre de voitures sans frein ont été ajoutées ou substituées aux voitures à frein. Un même itinéraire, parcouru en deux jours, était assigné aux deux trains, qui l'effectuaient à tour de rôle; cet itinéraire a compris les lignes de Paris à Creil par Chantilly, de Paris à Crespy-en-Valois (ligne de Soissons), de Paris à Abancourt par Beaumont et Beauvais, en gagnant Beaumont, soit par Pontoise, soit par Monsoult. L'expérience a donc été faite dans des conditions très variées au point de vue du tracé des lignes parcourues. Les trains, bien entendu, faisaient le service des voyageurs, auquel aucune perturbation n'a jamais été apportée. C'étaient toujours des trains-omnibus à arrêts nombreux, trains pour lesquels les freins continus semblent être particulièrement avantageux, en diminuant les temps perdus aux stations; cette circonstance n'a pas empêché, du reste, d'expérimenter l'action des freins à des vitesses considérables.

Nous examinerons d'abord séparément les deux appareils, et nous en ferons ensuite la comparaison.

PREMIÈRE PARTIE.

FREIN A EMBRAYAGE ÉLECTRIQUE (SYSTÈME ACHARD).

Dans l'invention de M. Achard, le serrage est obtenu par une action électrique. Mais l'électricité n'agit pas directement sur le mécanisme des freins : elle intervient seulement pour établir la solidarité entre une espèce de treuil, sur lequel peut s'enrouler une chaîne chargée d'agir sur le levier du frein, et un arbre qui emprunte un mouvement de rotation à l'un des essieux du véhicule. Cette

solidarité étant établie, le treuil lui-même tourne, la chaîne s'enroule et le frein fonctionne.

C'est donc avec raison que l'inventeur intitule son appareil *frein à embrayage électrique*. Sous un autre rapport, on voit qu'il rentre dans la catégorie des freins à entraînement, qui utilisent pour le serrage la force vive elle-même du train.

Dans la disposition adoptée à l'origine, le courant passait d'une manière permanente dans le circuit, et c'était par l'interruption de ce courant que l'appareil fonctionnait. Il en résultait cet avantage, qu'un défaut dans les communications électriques était immédiatement révélé par un arrêt intempestif et ne pouvait compromettre la sécurité, tandis que, d'autre part, en cas de rupture d'attelage, les freins fonctionnaient automatiquement. Mais il en résultait aussi une plus grande complication dans les appareils et une consommation très grande d'électricité, avec une dépense correspondante de matières et de main-d'œuvre dans l'entretien des piles.

Aujourd'hui qu'on est plus familiarisé avec l'emploi industriel de l'électricité et que, sur le réseau du Nord en particulier, l'emploi courant des appareils Prudhomme a montré la possibilité d'assurer régulièrement la communication électrique d'un bout à l'autre d'un train, M. Achard a cru pouvoir procéder autrement. Voici la disposition à laquelle il s'est arrêté, et qui a seule fonctionné dans les expériences dont je vais rendre compte (voir *fig.* 1, 2 et 3, Pl. VII).

A côté de l'un des essieux du véhicule et parallèlement à lui, est placé un arbre A suspendu au châssis du wagon au moyen de deux tiges articulées. Près de ses deux extrémités, cet arbre porte deux poulies de friction B, B, qui s'appuient sur l'essieu voisin, ou plutôt sur deux manchons calés sur cet essieu; des ressorts *a* agissant sur les paliers de cet arbre, par l'intermédiaire de vis de réglage, déter-

minent la pression qui s'exerce entre les poulies de friction et les manchons de l'essieu. Il résulte de cette disposition que, dès que l'essieu tourne, l'arbre voisin reçoit un mouvement continu de rotation.

Au milieu de cet arbre est solidement calé, soit un électro-aimant circulaire *c*, soit, dans la disposition à laquelle M. Achard est revenu en dernier lieu, un système de quatre électro-aimants à noyau plein rectiligne. Le fil qui fait circuler l'électricité dans cet appareil s'en éloigne dans les deux sens en parcourant, le long de l'arbre, une rainure dans laquelle il est isolé; ses extrémités sont en contact métallique avec les deux paliers, et ceux-ci en communication avec des fils G embranchés sur des conducteurs généraux FF qui sont établis sur les deux côtés du train, dans toute sa longueur. Lorsqu'un courant parcourt ces derniers conducteurs, un courant dérivé est lancé dans l'électro-aimant.

De chaque côté de l'électro-aimant, dans l'intervalle qui le sépare de la poulie de friction correspondante, est enfilé sur l'arbre, mais non calé, un manchon en fonte D portant, du côté qui regarde l'électro-aimant, un plateau circulaire en fer D′ posé à chaud. Les plateaux des deux manchons constituent les armatures de l'électro-aimant, et, lorsque le courant passe, ils adhèrent fortement contre celui-ci et sont entraînés avec lui dans le mouvement de l'arbre. C'est là ce qui constitue l'embrayage électrique.

A chacun de ces manchons, habituellement fous sur l'arbre, est attachée une chaîne E, et les deux chaînes, convenablement renvoyées par des poulies, viennent agir simultanément sur l'extrémité d'un grand levier J ou J′ qui, par les moyens ordinaires de transmission, met en action les sabots des freins. Dès que l'embrayage fonctionne par le passage du courant, les chaînes s'enroulent sur leurs manchons et les freins sont serrés.

Pour desserrer, il suffirait, à la rigueur, d'interrompre

le courant. Les choses sont disposées, en effet, de manière qu'il faille soulever le grand levier pour serrer les freins; dès lors, aussitôt que l'embrayage cesse d'agir, le poids de ce levier, convenablement lesté, tend à produire le desserrage. Mais le magnétisme rémanent du noyau de l'électro-aimant tend à maintenir le serrage, alors même que le courant a cessé de passer.

C'est pourquoi M. Achard a disposé ses commutateurs de telle sorte qu'au moment où on interrompt le courant, on fait passer pendant un temps très court un courant inverse. Il a reconnu que cet effet du magnétisme rémanent est moins prononcé avec les électro-aimants ordinaires, à noyau plein, qu'avec l'électro-aimant circulaire qu'il a appliqué pendant un certain temps. Le desserrage est donc plus facile sur ces électro-aimants, et il résulte d'expériences faites par M. Marcel Deprez que le serrage est aussi plus prompt. Ce sont les motifs de la préférence que M. Achard paraît leur donner aujourd'hui.

Le poids total du système moteur, qui est d'environ 400 kilog. avec l'électro-aimant circulaire, se réduit à environ 350 kilog. avec les électro-aimants à noyau plein, en tenant compte de la réduction qu'on peut faire subir au contre-poids du grand levier.

On comprend qu'à la rigueur un seul appareil moteur pourrait servir pour les freins de plusieurs véhicules, n'était la difficulté d'assurer la transmission du mouvement malgré le jeu des attelages, et sans compromettre la faculté d'accrocher et de décrocher facilement. Cette difficulté n'existe pas lorsque les deux véhicules considérés sont la machine et le tender. C'est pourquoi, ne voulant pas encombrer de nouveaux organes le dessous de la plate-forme de la machine, on a fait commander les freins de celle-ci par l'appareil moteur du tender. A cet effet, les chaînes motrices, après avoir passé sous les galets placés à l'extrémité du grand levier du tender, se relèvent sous le châssis

et vont plus loin attaquer le levier des freins de la machine. La longueur de chaîne à enrouler étant plus grande, le serrage est moins prompt, mais son énergie est la même qu'avec un seul frein, à la différence près du frottement qui se produit dans les organes de transmission.

La machine sur laquelle ce système a été installé en vue des expériences est une machine Crampton. Les freins agissent sur les deux essieux porteurs.

L'électricité est fournie par des piles renfermées dans les fourgons de tête et de queue. A l'origine des expériences faites au Nord, M. Achard employait la pile Leclanché, et il ne pouvait obtenir une intensité suffisante qu'avec un nombre d'éléments qui formait un total fort encombrant. Depuis quelque temps, il a obtenu sous ce rapport une amélioration considérable par l'emploi de l'accumulateur de M. Planté, au moyen duquel l'électricité produite par la pile est emmagasinée pendant le non-fonctionnement des freins, pour être rendue disponible au moment où l'on a besoin du courant. On comprend sans peine qu'avec un appareil grâce auquel on peut disposer, pendant dix ou vingt secondes que dure chaque arrêt, de l'électricité accumulée depuis l'arrêt précédent, il suffise, pour obtenir l'intensité voulue, d'un nombre d'éléments beaucoup moindre que s'il fallait produire l'électricité au fur et à mesure. Trois éléments de Daniell, et un accumulateur Planté, placés dans une boîte de $30^c \times 30^c \times 60^c$, constituent ce qu'on peut appeler un élément, et il faut 4 ou 5 boîtes pareilles pour un train de 12 véhicules.

La pile du fourgon de tête, qui est seule à la portée du mécanicien, est la seule qui fonctionne habituellement. Celle de même importance qui est placée dans le fourgon de queue ne servirait que si un accident déterminait le conducteur d'arrière à arrêter le train ; mais, dans le voyage de retour, elle sera naturellement placée en tête du train et fonctionnera à son tour.

Pour compléter le système, une pile moins forte est placée sur le tender; elle n'est pas habituellement en communication avec les autres, dont elle affaiblirait le courant, le sien n'ayant qu'une intensité inférieure, et ne sert que lorsque la machine manœuvre isolément.

Dans chacun des deux fourgons est placé un interrupteur qui, au moyen de deux tringles de contact, permet de lancer le courant dans le train pour produire le serrage, ou de l'intercepter pour produire le desserrage. Deux cordes qu'on attache à ces tringles, au moment du départ, viennent sur la machine et mettent la commande à la disposition du mécanicien.

L'effort qu'exige la manœuvre de ces interrupteurs est peu considérable, et il est évident qu'on peut s'arranger de manière à la faire opérer par un appareil commandé par les courants qui mettent en action les sifflets électro-automoteurs (*), de façon que, par exemple, un disque à l'arrêt détermine le serrage des freins et l'arrêt automatique du train. C'est ce qui a été réalisé dans le train d'expériences et expérimenté fréquemment avec succès.

On pourrait aussi, et de la même manière, en utilisant la communication électrique Prudhomme, donner la faculté de serrer les freins à un conducteur placé dans le milieu du train, ou même aux voyageurs qui ont cette communication à leur portée.

Nous avons dit plus haut qu'il y a deux conducteurs généraux circulant tout le long du train, l'un à droite, l'autre à gauche, reliés entre eux sur chaque véhicule par le fil de l'électro-aimant qui reçoit ainsi un courant dérivé. La portion de chaque conducteur que porte chaque véhicule se prolonge d'un côté, en dehors du châssis, d'une longueur un peu plus grande que celle de l'attelage, et

(*) Disposition imaginée et étudiée par MM. Ed. Delebecque et Bandérali.

se termine par un anneau ou par un crochet métallique ; elle se termine à l'autre bout, à fleur du châssis, par un crochet en cuivre présentant intérieurement le métal nu, de façon que lorsque, l'extrémité d'un autre conducteur y est introduite, il y a communication métallique ; ce crochet n'est pas rigide, mais articulé de manière que son bout, tenu en place par un ressort, cède sous un effort suffisant, et, par exemple, en cas de rupture d'attelage, laisse échapper l'anneau qui y est logé, sans rupture du conducteur. Bien entendu, les deux extrémités des conducteurs de chaque véhicule sont alternées de façon que, lorsque deux véhicules sont mis en présence, l'accrochage se fasse bien de quelque manière qu'on les retourne.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Les résultats de l'expérience faite sur le frein Achard, comme sur les freins en général, peuvent se ranger sous les deux titres suivants :

1° Effets mécaniques ;
2° Avantages et inconvénients pratiques.

Je laisserai de côté ou je ne toucherai qu'incidemment la question économique, qui sort évidemment de l'objet de mon examen.

EFFETS MÉCANIQUES.

Les effets mécaniques d'un frein dépendent de deux points : l'énergie du serrage, qui a pour mesure la pression exercée sur les sabots, et la promptitude d'action, dont la mesure résulte du temps employé à obtenir le serrage complet.

Ce n'est pas, en général, l'énergie du serrage qui fait la principale différence entre les divers systèmes de freins. Tous, depuis les freins à main jusqu'aux freins mécaniques les plus perfectionnés, permettent ou au moins doivent

permettre d'exercer sur les jantes des roues une pression suffisante pour en déterminer le calage, pression au delà de laquelle tout excès est superflu. Il peut arriver cependant que, dans certaines dispositions de frein à main, en voulant agir à la fois sur un nombre un peu grand de sabots, sans trop compromettre la promptitude d'action, ou avec des freins mécaniques dont le mécanisme moteur est encombrant, on soit conduit à rester, dans la pratique, notablement en dessous de la pression de calage (*). Mais ce n'est pas le cas pour les freins à entraînement en général, dans lesquels on dispose d'une puissance motrice considérable, à l'aide d'un mécanisme d'embrayage ou d'enclenchement dont les dimensions peuvent rester toujours assez restreintes, quelque effort qu'il s'agisse de produire.

M. Achard estime, d'après quelques expériences, que, dans ses électro-aimants, au moins alors que les surfaces se sont un peu rodées les unes contre les autres, l'effort tangentiel qui serait nécessaire pour faire tourner l'armature, quand elle est en prise, est égal au tiers de l'action exercée par l'électro-aimant dans le sens de son axe, et peut facilement s'élever à 150 kilog. pour chacun des deux manchons d'enroulement, dans les conditions de construction qu'il a adoptées. Cet effort s'exerce à environ 150 millimètres de l'axe de ces manchons; le rayon d'enroulement sur ces manchons étant de 50 millimètres, l'effort maximum qui peut être exercé sur chacune des deux chaînes serait d'environ $150 \times \frac{150}{50} = 450$ kilog. Par le mode d'action de la chaîne et la combinaison des leviers, l'effort est ensuite multiplié par 20. On dispose donc d'un

(*) Je n'entends pas dire ici qu'on doive effectivement caler les roues : c'est une question sur laquelle nous reviendrons plus loin; mais pour obtenir tout l'effet que les sabots peuvent donner, il faut pouvoir approcher autant qu'on le voudra de la pression de calage.

effort sur les sabots qui peut atteindre 18.000 kilog. pour chaque paire de roues, effort plus que suffisant pour produire le calage, même des essieux de tenders.

Les choses sont disposées de manière que l'action de la chaîne presse les poulies de friction sur l'essieu qui les meut (*); il n'y a donc pas à craindre que l'appareil cesse d'être entraîné par celui-ci avant le moment où il cesse lui-même de tourner.

On comprend aisément, par ce qui précède, qu'il serait facile d'obtenir un serrage encore plus énergique si l'on en avait besoin. Il est donc évident que le frein Achard ne laisse rien à désirer sous ce rapport. Au contraire, ainsi que nous le verrons dans la troisième partie, son défaut est de serrer trop énergiquement et d'amener le calage des roues.

Au point de vue de la promptitude d'action, il est facile de voir qu'il doit en être de même.

Le temps nécessaire, non seulement pour que le courant parvienne à l'extrémité du train, mais pour que les électro-aimants soient en tension et agissent sur leurs armatures, est évidemment minime. D'après les rapports adoptés par M. Achard pour les diamètres des poulies de friction et des manchons d'enroulement, chaque tour de l'essieu moteur fait enrouler $0^m,20$ de chaîne, et par conséquent, d'après le rapport indiqué ci-dessus pour les efforts, qui est le rapport inverse des chemins parcourus, il fait avancer les sabots de $0^m,01$. Or, un intervalle de $0^m,01$ entre la surface du sabot et celle du bandage est plus que suffisant; en admettant cependant qu'avec des sabots en bois usés et mal réglés l'intervalle puisse s'élever au triple, trois tours de roue suffiront donc, comme maximum ex-

(*) Il faut pour cela que la direction de la chaîne, considérée à partir du point où elle se détache de la surface du manchon d'enroulement, fasse un angle aigu avec la ligne qui va du centre du manchon à celui de l'essieu.

trême, pour assurer l'application des freins. Or, trois tours représentent 10 mètres de parcours et une durée variant d'une demi-seconde à une seconde suivant la vitesse des trains. Il faut encore un peu de temps en plus pour que les chaînes et pièces de transmission, ainsi que les sabots eux-mêmes, se mettent en tension.

M. Marcel Deprez, en observant l'essieu par une trappe ménagée dans le plancher du fourgon, a constaté entre l'instant où la tringle de commande est mise en mouvement et celui où l'essieu devient immobile une durée variant de $1^s,6$ à $2^s,2$. Cet intervalle comprend le temps nécessaire pour que l'essieu dépense sa force vive de rotation, temps pendant lequel l'action retardatrice du frein est déjà complète, ainsi que nous le verrons plus loin. Nous avons donc là une limite supérieure du temps nécessaire pour que le frein entre en pleine action.

Aucun autre frein continu ne possède, croyons-nous, une promptitude d'action comparable. Avec le frein automatique à air comprimé de M. Westinghouse, on a indiqué pour le temps nécessaire au serrage une durée $1^s\frac{1}{3}$ à $2^s\frac{1}{4}$, suivant la position du véhicule dans le train; mais ce n'est sans doute pas un serrage à fond, car, d'après les diagrammes relevés en marche, il s'en faut de beaucoup que le frein ait dès le début toute son énergie d'action (*).

Notons en passant une particularité importante de ce système : c'est que le temps nécessaire pour le serrage est en raison inverse de la vitesse et correspond à un parcours constant du train : condition évidemment avantageuse, car, en général, l'espace libre qu'un train a devant lui est donné indépendamment de sa vitesse ; c'est dans cet espace donné et non dans un temps donné qu'il importe de pouvoir l'arrêter.

(*) Des expériences récemment publiées par M. le capitaine Douglas Galton ont donné les résultats suivants relativement au ser-

Une autre particularité très importante, c'est que tous les freins sont serrés en même temps, aux différences près qui peuvent résulter de l'usure et du réglage inégal des sabots, différences qui sont indépendantes de leur position dans le train. La seule différence qui soit en rapport avec cette position est relative au temps nécessaire pour la mise en tension des électro-aimants, et il est évident que, sous ce rapport, aucun autre mode de transmission ne peut être mis en balance avec l'électricité.

---

rage des sabots avec le frein Westinghouse, à partir du moment où la valve de commande est mise en mouvement :

RANG du véhicule à partir de la machine.	COMMENCEMENT du mouvement des sabots.	MILIEU.	TROIS - QUARTS.	PLEINE ACTION.
	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.
1er	0 1/4	0 5/8	0 3/4	1 1/2
7e	1	1 3/4	2	2 1/2
13e	1 3/4	2 3/4	3 1/8	3 1/2
21e	3	4 1/2	5	5 1/2

Il faut remarquer que, dans ces expériences, 1° l'écartement entre la surface des sabots et celle des bandages était réglé à un quart de pouce (6mm,50), espace qui correspondrait dans le frein Achard à un parcours de deux tiers de roue; 2° que l'observation portant sur la pression des sabots et non sur la rotation des roues, pour comparer ces durées à celles de 1s,6 à 2s,2, que nous avons indiquées pour le frein Achard, il faut ajouter aux premières ou retrancher de celles-ci le temps nécessaire, à partir du moment où la pression de calage est établie, pour détruire la vitesse de rotation des roues.

Or, ce temps, dans les expériences de M. Galton, a varié entre trois quarts de seconde et 3 secondes, suivant la vitesse initiale. On voit par ce dernier résultat, et en admettant que ce temps ait une valeur de même ordre avec le frein Achard, que la durée nécessaire avec ce frein pour que la pression de calage soit établie, et par conséquent pour que la retardation du train se produise avec toute son énergie, doit être inférieure à une seconde, ainsi que cela résulte du calcul direct.

Une question qui se présente naturellement à l'esprit est de savoir si la force disponible pour le serrage des freins est la même sur toute la longueur du train. On peut s'en rendre compte en appliquant les lois de la distribution des courants électriques dans les conducteurs, et l'on arrive à reconnaître, ce que l'expérience confirme, qu'il y a une différence notable entre les intensités des courants dérivés qui agissent sur les freins des divers véhicules.

Si l'on appelle i_n l'intensité du courant du $n^{ième}$ véhicule à partir de la pile et i' l'intensité du courant général dans la partie qui relie ce véhicule au précédent, on a la relation $i_{n-1} - i_n = \frac{r'}{r} i'$, dans laquelle r représente la résistance de chacun des circuits dérivés et r' celle de la portion du circuit général qui relie deux courants dérivés, ou, ce qui revient au même, de la portion du circuit général afférente à chaque véhicule.

Il résulte de cette égalité que la différence $i_{n-1} - i_n$ est toujours positive et, par conséquent, que les intensités vont en décroissant à partir de la pile ; mais comme l'intensité i' du courant général va elle-même en décroissant à chaque déviation, cette différence va en diminuant. Si l'on désigne par i l'intensité initiale du courant, avant dérivation, la différence sera toujours moindre que $\frac{r'}{r} i$, et par conséquent les courants décroissent moins vite que les termes d'une progression arithmétique dont la raison serait $\frac{r'}{r} i$.

On aperçoit en outre que le décroissement sera d'autant moins rapide que $\frac{r'}{r}$ sera moindre.

Dans le train du Nord, chaque électro-aimant renferme de 350 à 400 mètres de fil de cuivre de 2 millimètres de diamètre ; le circuit général est formé par un câble de 12

fils d'un millimètre de diamètre, et la longueur afférente à chaque véhicule, double de la distance de tampon à tampon, est d'environ 15 mètres; les résistances étant proportionnelles aux longueurs et en raison inverse des sections, on aura à peu près

$$\frac{r'}{r} = \frac{4 \times 15}{12 \times 400} = \frac{1}{80}.$$

Je fais abstraction des résistances qui se rencontrent à l'attelage des véhicules ou dans les paliers de l'arbre de l'électro-aimant, en un mot dans les solutions de continuité. Ces résistances ne sont peut-être pas négligeables, mais on manque de données pour les évaluer; il est d'ailleurs probable qu'elles sont assez variables suivant l'état d'entretien.

Quoi qu'il en soit, en admettant cette valeur de $\frac{1}{80}$, je suis arrivé, au moyen d'une théorie plus complète qui ne saurait trouver place ici, et qui permet de calculer l'intensité de chacun des courants d'un train, à reconnaître que dans un train de onze véhicules, on a

$$i_1 = i \times 0{,}127 \; . \; . \; . \; . \; . \; i_{11} = i \times 0{,}072.$$

La puissance de l'électro-aimant, qui est proportionnelle à l'intensité, sera donc presque moitié moindre dans le dernier véhicule que dans le premier. Par conséquent, il faudra un sensible excédant de force dans le voisinage de la pile pour en avoir assez à l'autre extrémité. En fait, et avec les piles employées par M. Achard dans le train d'expérience, on cale facilement les roues du dernier véhicule.

Il est évident, du reste, que cette différence d'intensité n'a aucune influence sur la durée du serrage, du moment que l'intensité est suffisante pour déterminer l'adhérence complète des armatures de l'électro-aimant, et par conséquent pour caler les manchons d'enroulement sur leur arbre; elle n'en a aucune non plus sur l'énergie du ser-

rage, si l'intensité est partout suffisante pour produire le calage. Elle n'en a que sur la puissance de la pile nécessaire pour obtenir ce résultat.

Comme exemples des effets obtenus, nous citerons d'abord quelques expériences dans lesquelles on a déterminé seulement la vitesse initiale, ainsi que le parcours effectué et le temps écoulé à partir du moment où le courant électrique a été émis, jusqu'à l'arrêt complet du train. La vitesse était donnée par le temps employé à parcourir le dernier kilomètre ; le parcours nécessaire pour l'arrêt s'obtenait en comptant les tours de roues de la machine.

EXPÉRIENCE DU 18 OCTOBRE 1877.

Train 118 (de Creil à Paris) formé de onze véhicules, tous munis du frein, remorqués par la machine Crampton n° 10, dont les quatre roues porteuses sont soumises à l'action du frein, ainsi que celles du tender :

	kilog.
Poids du train, machine comprise, environ. .	129.200
Poids soumis à l'action des freins, environ. .	116.700
Rapport de ces poids ou fraction enrayée. . .	0,90

Il faut remarquer que pour les deux essieux de la machine, et surtout pour l'essieu antérieur, le serrage n'est généralement pas suffisant pour produire le calage.

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie.		CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	OBSERVATIONS.
		Pentes.	Rampes.			
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Chantilly.	46	»	1	85	12	Frein fait à tous les arrêts au moyen du commutateur de la machine. Rails secs pendant toute la durée de l'essai.
Orry-la-Ville.	43	»	1	85	11	
Survilliers.	35	»	1	52	8	
Louvres	71	1	»	215	19	
Goussainville	70	»	»	195	16	
Gonesse	70	»	»	228	18	
Pierrefitte.	76	5 et 2,6	»	235	18	
Saint-Denis	70	»	»	179	16	

EXPÉRIENCE DU 15 DÉCEMBRE 1877.

Train 119, de Paris à Creil, formé de dix véhicules, tous munis du frein; machine comme ci-dessus.

	kilog.
Poids total du train, environ.	121.700
Poids enrayé.	109.200
Fraction enrayée.	0,90

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie. Pentes.	INCLINAISON de la voie. Rampes.	CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	OBSERVATIONS.
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Saint-Denis	53	»	»	203	24	Frein manœuvré à chaque fois par le mécanicien.
Pierrefite	35	»	2,6	91	19	
Gonesse	»	»	»	»	»	
Goussainville	»	»	»	»	»	Rails gras. Brouillard intense.
Louvres	46	»	1	97	13	
Survilliers.	58	1	»	233	22	Emploi de sable. Distribution au point mort.
Orry-la-Ville.	67	1	»	285	24	Emploi de sable.
Chantilly.	69	1	»	265	23	

EXPÉRIENCE DU 3 JUILLET 1877.

Train 119, formé de six voitures munies du frein, avec sept voitures sans frein jusqu'à Luzarches, et six seulement à Orry-la-Ville et à Chantilly; machine comme ci-dessus.

	kilog.
Poids total jusqu'à Luzarches.	133.200
Au delà.	140.700
Poids enrayé.	80.700
Fraction enrayée jusqu'à Luzarches.	0,57
Au delà.	0,61

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie.		CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	OBSERVATIONS.
		Pentes.	Rampes.			
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Pierrefitte.	35	»	2,6	78	14	Rails secs pendant toute la durée de l'essai.
Gonesse.	37	0	0	89	14	
Goussainville. . . .	40	0	0	113	17	
Louvres.	45	»	1	130	19	
Survilliers.	68	1	»	218	28	
Orry-la-Ville.	85	1	»	420	37	
Chantilly.	71	1	»	320	30	

EXPÉRIENCE DU 27 OCTOBRE 1877.

Train 119, formé de 12 véhicules, dont six munis du frein; machine comme ci-dessus. Les six voitures à frein sont partagées en deux groupes de trois, l'un en tête, l'autre en queue, mis en action simultanément par une seule manœuvre.

	kilog.
Poids total, environ	133.200
Poids enrayé.	80.700
Fraction enrayée.	0,61

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie.		CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	OBSERVATIONS.
		Pentes.	Rampes.			
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Saint-Denis. . . .	65	0	0	227	12	Frein fait par le commutateur de la machine.
Pierrefitte.	46	»	2,6	117	16	Frein fait par le commutateur du fourgon de tête.
Gonesse	42	0	0	101	15	Frein fait par le commutateur de la machine.
						Idem.
Louvres	30	»	1	65	12	Le disque à distance étant à l'arrêt a déclenché le commutateur de la machine et par suite appliqué le frein.
Survilliers.	65	1	»	241	19	Frein fait par le commutateur de la machine.
Orry-la-Ville.	84	1	»	405	34	Idem.
Disque de Chantilly.	82	5	»	430	»	Frein déclenché par le disque à l'arrêt.
Chantilly.	»	»	»	»	»	Frein fait par le commutateur du fourgon de queue.
						Rails gras pendant toute la durée de l'essai.

Ces exemples ont été choisis sur un grand nombre, de manière à montrer les effets obtenus en agissant, soit sur la presque totalité, soit sur la moitié environ du train, et dans des circonstances atmosphériques très différentes.

Comme cas extrêmes, on remarquera que dans les circonstances les plus favorables, c'est-à-dire avec le train presque entièrement enrayé, avec le rail bien sec, une vitesse de 76 kilomètres à l'heure, sur une pente de 5 millimètres d'abord et de $2^{mm},6$ à la fin, a pu être annihilée dans un parcours de 235 mètres et dans l'espace de 18 secondes.

Le train n'étant qu'à peu près à moitié enrayé, mais le rail bien sec, une vitesse de 85 kilomètres, sur une pente de 1 millimètre, a exigé 420 mètres et 37 secondes.

Le rail étant gras, nous trouvons que, sans employer de sable, on a pu, avec le train presque entièrement enrayé, détruire une vitesse de 67 kilomètres, sur une pente de

1 millimètre, dans l'espace de 285 mètres et de 24 secondes.

Le train n'étant qu'à peu près à moitié enrayé, une vitesse de 84 kilomètres, sur une pente de 1 millimètre, a été détruite dans l'espace de 405 mètres et de 34 secondes. On remarquera que ce résultat semble être plus avantageux qu'avec le rail sec, ou au moins aussi bon si l'on tient compte de la petite différence des vitesses. Cela tient sans doute à l'appréciation toujours un peu incertaine de la vitesse initiale et à celle bien plus incertaine encore de l'état de la voie.

EXPÉRIENCES CHRONOGRAPHIQUES.

Nous avons pu faire quelques expériences plus précises au moyen d'un appareil chronographique disposé par M. Marcel Deprez.

Dans cet appareil, deux plumes liées chacune à l'armature d'un petit électro-aimant, s'appuient à côté l'une de l'autre sur une bande de papier qui se déroule d'un mouvement à peu près uniforme. L'un des électro-aimants reçoit le courant d'une pile spéciale, et, ce courant étant interrompu périodiquement par un mouvement d'horlogerie, la plume s'écarte alternativement à droite et à gauche à chaque demi-seconde. L'autre électro-aimant reçoit une dérivation du courant du train, mais par l'intermédiaire d'un contact métallique porté par un essieu et qui ne laisse passer le courant que pendant une petite fraction de chaque tour. Le trait donné par cette plume présente donc à chaque tour un petit crochet. Bien entendu, l'essieu qui porte ce contact n'est pas muni de frein (*).

(*) Il est facile de s'assurer que, malgré le mouvement retardé du train, la vitesse acquise de cet essieu ne peut jamais le faire patiner, et que, par conséquent, sa vitesse angulaire fait bien connaître la vitesse de translation du train.

En effet, s'il y avait patinage, la réaction du rail sur la jante

On a ainsi sur la bande de papier deux traits parallèles qui font connaître, l'un les temps écoulés, l'autre les tours de roue et par conséquent les chemins parcourus. Le mouvement du véhicule est, par là, complètement défini.

---

serait dirigée vers l'avant et communiquerait à l'essieu une accélération angulaire relative $\frac{d\omega}{dt}$, égale à son propre moment par rapport à l'axe divisé par le moment d'inertie I de l'essieu et des roues par rapport à cet axe. Si nous désignons par R le rayon de roulement, par P la charge et par p le poids de l'essieu monté, par f le coefficient de frottement à vitesse nulle (voir à la troisième partie de ce rapport), on devra avoir, au moment où le patinage commencera à se produire,

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{R(P+p)f}{I}.$$

Nous négligeons le frottement sur la fusée, qui ne peut que s'opposer au patinage.

La définition cinématique du patinage, c'est que la vitesse à la circonférence $R\omega$ résultant de la rotation de la roue, soit supérieure à la vitesse de translation v, et puisque les valeurs initiales de ces deux quantités sont égales, il faut que la première s'accroisse plus vite que la seconde, c'est-à-dire que l'on ait

$$R.\frac{d\omega}{dt} > \frac{dv}{dt}, \qquad R\frac{d\omega}{dt} - \frac{dv}{dt} > 0.$$

Or, dans le cas actuel, $\frac{dv}{dt}$ est égale à l'accélération négative $-j$ du train, la condition devient donc

$$-\frac{R^2}{I}(P+p)f + j > 0, \qquad j > \frac{R^2}{I}(P+p)f.$$

La valeur de j est inférieure à celle qui résulterait du serrage à fond de toutes les roues du train, laquelle serait égale au frottement πf divisé par la masse $\frac{\pi}{g}$ du train ou à gf. Donc *a fortiori* devrions-nous avoir

$$gf > \frac{R^2}{I}(P+p)f.$$

Mais $I = \frac{p}{g}K^2$, en désignant par K le rayon de gyration de l'es-

Pour avoir les vitesses, il suffit de prendre les différences des chemins parcourus de seconde en seconde. C'est en procédant ainsi que nous avons construit les tableaux A et B (Pl. VII), joints à ce rapport, dans lesquels sont représentés graphiquement un certain nombre d'arrêts obtenus le 21 mai 1878, dans un voyage de Paris à Creil et *vice versa*. Nous avons considéré chaque vitesse comme ayant été réalisée au milieu de la seconde correspondante.

Quelques-unes des courbes présentent, surtout vers l'origine, des irrégularités assez grandes, qui proviennent évidemment en partie d'erreurs d'observation. L'examen des bandes montre, en effet, que les demi-secondes ne sont pas toutes égales et présentent quelquefois des écarts assez considérables ; l'armature de l'électro-aimant qui commande la plume n'obéit sans doute pas toujours instantanément, et l'on comprend que cela se produise surtout au début, soit que l'appareil ait besoin de se mettre en train, soit à cause des cahots du véhicule, animé à ce moment de sa plus grande vitesse. Toutefois, quelques-unes des irrégularités observées correspondent certainement à des irrégularités réelles de la marche du véhicule.

Pour ce qui est des erreurs d'inscription, il est à remarquer que, par la construction même de l'appareil, elles ne s'accumulent pas, de sorte que la courbe effective doit bien passer entre les points obtenus et que, malgré les

---

lieu, rayon inférieur à R ; il faudrait donc avoir

$$gf > g\frac{R^2}{K^2}\cdot\frac{P+p}{p}\cdot f, \quad \text{ou} \quad \frac{R^2}{K^2}\times\frac{P+p}{p} < 1,$$

condition absurde.

Si la voie est en rampe et si nous tenons compte de la résistance du train, la valeur de j est plus grande, mais il est évident qu'avec les rampes et les résistances qui se rencontrent dans la pratique elle n'arrivera jamais à égaler le produit $\frac{R^2}{I}(P+p)f$. Ce qu'il faut ajouter au deuxième membre de la dernière inégalité, pour tenir compte de ces circonstances, n'est jamais qu'une petite fraction de l'unité.

erreurs locales, on doit avoir très exactement la représentation générale du phénomène.

Cette même circonstance fait qu'on a des courbes très régulières en prenant pour ordonnées les espaces parcourus, tandis qu'avec les vitesses, qui sont les différences de ces espaces, l'erreur relative sur chaque ordonnée est beaucoup plus grande.

Outre la machine et le tender qui se trouvaient dans les mêmes conditions qu'aux expériences déjà indiquées, le train se composait de dix voitures, dont sept munies du frein; il a, en outre, remorqué deux écuries de Paris à Orry, à l'aller, et de Chantilly à Paris, au retour. Cela donne les poids approximatifs suivants :

	POIDS total.	POIDS enrayé.	RAPPORT ou fraction enrayée.
	kilog.	kilog.	
A Chantilly (aller, train 119). .	121.700	87.200	0,72
Aux autres stations.	132.700	87.200	0,66

Les vitesses obtenues comme nous venons de le dire sont exprimées en tours de roue. Plusieurs observations ont montré qu'un parcours d'un kilomètre exige 340 ou 341 tours; longueur par tour, $\frac{1000}{340,5} = 2^m,937$. Tel est le nombre par lequel il faut multiplier les vitesses exprimées en tours pour les avoir en mètres par seconde. Pour les avoir en kilomètres par heure, il faut multiplier en outre par $\frac{3600}{1000} = 3,6$ ou, au total, par 10,573.

Comme vérification, on trouve que la circonférence de $2^m,937$ correspond à un diamètre au roulement de $0^m.9348$. Or, le diamètre de construction est, au Nord, de $0^m,935$.

En partant de ces données, on trouve que, dans les expériences du 21 mai, les vitesses initiales données par l'appareil lui-même ont varié entre 3,53 tours par seconde ou 37 kilomètres par heure et 6,13 tours ou 65 kilomètres.

Il y a quelque intérêt à comparer les distances et les

temps employés pour l'arrêt complet avec les résultats obtenus par des moyens moins exacts qui ont été donnés plus haut.

En voici le tableau :

EXPÉRIENCES DU 21 MAI 1878.

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	OBSERVATIONS.
Train 119.				
	kilom. par heure	mètres.	secondes.	
Saint-Denis	47	109	13	
Pierrefitte	39	85	12	
Gonesse	37	79	11	
Goussainville	50	123	13	
Louvres	42	73	10	
Luzarches	63	206	19	
Orry-la-Ville	56	197	24	Pluie.
Chantilly	53	144	15	
Train 118.				
Chantilly	46	106	12	Temps sec pendant tout le trajet.
Orry-la-Ville	47	112	14	
Luzarches	46	97	11	
Louvres	65	206	18	
Goussainville	55	153	15	
Gonesse	59	226	24	
Pierrefitte	»	»	»	
Saint-Denis	52	132	15	

Si maintenant on entre dans le détail des phénomènes en examinant le tableau graphique des vitesses, ce qui frappe immédiatement, c'est que, pour chaque arrêt, les points obtenus se placent très franchement en ligne droite. Il n'y a d'exception que pour l'arrêt de Gonesse au retour, dans lequel la ligne présente une inflexion très marquée entre 13ˢ,5 et 18ˢ,5.

Dans tous les autres arrêts, la vitesse a donc été en décroissant uniformément ; le mouvement était *uniformément retardé* ($v = v_0 - jt$). Tout au plus peut-on saisir dans les deux premières secondes l'indication d'une légère cour-

bure concave, vers l'axe des temps, indiquant une accélération négative d'abord un peu moindre.

Il résulte de là que le frein Achard agit à très peu de chose près comme un frein théorique, c'est-à-dire que, dès sa mise en action, il produit immédiatement son maximum d'effet, et conserve une action retardatrice constante.

Toutefois il est à remarquer que l'appareil enregistreur n'indique la mise en action du frein que lorsque le courant électrique circulant dans la dérivation du véhicule qui porte l'appareil (dans nos expériences c'était un véhicule du milieu du train) a pu mettre en tension son électro-aimant; il ne nous permet donc pas de tenir compte du temps qui s'écoule jusqu'à ce moment et qui ne doit pas différer sensiblement de celui qui est nécessaire pour qu'un frein placé à la même hauteur soit non pas serré, mais embrayé. Ce temps toutefois, nous l'avons vu, ne peut être que très petit.

Cette première conclusion est d'autant plus importante que les autres freins continus qui ont été expérimentés jusqu'à présent sont tous plus ou moins éloignés de remplir cette condition, même le frein automatique de M. Westinghouse, qui en approche le plus.

Si l'on examine, en effet, les diagrammes obtenus par M. Westinghouse lui-même dans des expériences faites au North-British Railway, dans lesquels l'ordonnée représente le carré de la vitesse, et l'abscisse le chemin parcouru, on trouve qu'ils présentent dans les premiers instants une courbure prononcée, concave vers l'axe des abscisses. Or, si le mouvement était uniformément retardé, la ligne devrait être une droite en vertu de l'équation $v^2 = v_0^2 - 2je$ (*).

(*) Droite bien différente, on le voit, de celle que représentent nos tracés relatifs au frein électrique; elle a pour coefficient angulaire non plus j, mais $2j$.

Pour pouvoir pousser la comparaison plus loin, pour comparer les valeurs de l'accélération j, par exemple, il faudrait que les expériences eussent été faites dans des circonstances identiques de part et d'autre. Cette accélération, en effet, dépend essentiellement de la fraction du poids total qui est enrayée, des circonstances atmosphériques, etc.

Une circonstance intéressante à remarquer dans nos tracés graphiques, c'est que les courbes n'atteignent jamais l'axe des abscisses ; la dernière vitesse observée est, en général, voisine d'un tour de roue par seconde, soit 10 kilomètres et demi à l'heure, elle va même jusqu'à un tour et demi ; une seule fois elle descend à un demi-tour, et cela dans une expérience où l'adhérence était faible par suite de l'état de la voie. En prolongeant les tracés jusqu'à l'axe des abscisses, on voit que l'arrêt complet, si le mouvement suivait toujours la même loi, exigerait plusieurs secondes et par conséquent plusieurs tours de roue ; le fait signalé ne provient donc pas d'un défaut d'indication de l'appareil, puisque celui-ci marque chaque tour ; c'est bien un fait réel : lorsque la vitesse est suffisamment réduite, le ralentissement devient subitement plus rapide et le train s'arrête brusquement.

Le même fait résulte également des diagrammes déjà mentionnés de M. Westinghouse ; la ligne figurative, à peu près droite dans la majeure partie du trajet, s'abaisse brusquement vers la fin. Cet abaissement se produit toujours à des vitesses comprises entre 5 et 10 milles par heure, soit $2^m,25$ à $4^m,50$ par seconde, ce qui répond bien à peu près à un tour de roue.

Ce fait, qui d'ailleurs n'échappe pas à un observateur attentif au moment de l'arrêt, ne semble guère pouvoir s'expliquer autrement que par une augmentation du coefficient de frottement des roues sur les rails lorsque la vitesse diminue. C'est en effet vers les limites de vitesses

que nous venons d'indiquer que les courbes représentatives du coefficient de frottement dans les expériences de M. Bochet (voir à la troisième partie) commencent à se relever fortement.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS PRATIQUES.

Il nous reste à examiner le frein Achard au point de vue des conditions pratiques du fonctionnement.

La première et la plus importante de toutes est la sûreté de fonctionnement ; sous ce rapport, l'emploi de l'électricité pourrait inspirer quelques appréhensions. Elles ne sont pas justifiées par l'expérience, au moins en ce qui concerne le serrage.

Il m'a été communiqué à la Compagnie, d'après les rapports des conducteurs ou des mécaniciens du train électrique, un relevé de tous les cas où le frein a donné lieu à quelque difficulté. Dans ce relevé, qui va du 2 décembre 1875 au 26 avril 1878, je ne trouve qu'un seul cas de non-fonctionnement, et encore ce n'est pas le train entier ou une partie notable, mais seulement une voiture, qui n'a pas fonctionné. Sans doute il s'était produit une interruption dans le circuit électrique particulier à cette voiture. Cet incident n'a pu avoir qu'une influence insignifiante au point de vue l'arrêt.

Quant aux deux conducteurs longitudinaux qui parcourent le train, il ne s'y est jamais produit d'interruption, et l'on comprend, en effet, que lorsqu'on a, avant le départ, vérifié le bon état des communications, ce qui est facile, il n'y a guère de chances de dérangement en cours de route. Cette expérience est d'accord avec celle plus prolongée encore de la communication électrique Prudhomme.

Remarquons encore que si une interruption se produisait dans un de ces conducteurs, le mécanicien pourrait toujours utiliser les freins situés en avant de cette inter-

ruption, ceux d'arrière restant à la disposition du conducteur de queue.

Le fonctionnement est moins satisfaisant en ce qui concerne le desserrage. Le dossier relève une vingtaine de cas où des freins n'ont pu être desserrés par les agents du train ou ne l'ont été qu'avec difficulté, ce qui a occasionné des retards plus ou moins longs. Postérieurement à la date à laquelle il se termine, le train tout entier est resté enrayé, ce qui a occasionné un retard de plus d'une heure. On a reconnu ensuite qu'au moment de l'arrêt le conducteur d'arrière avait agi sur son commutateur en même temps que le mécanicien sur le sien; puis il avait oublié de supprimer son courant, et aucun des autres agents du train n'avait eu l'idée d'y regarder. Il est probable que, dans d'autres cas, l'inexpérience des agents, qui changeaient constamment, est entrée pour quelque chose dans les inconvénients observés.

Cependant la difficulté au desserrage est réelle, et quelques dispositions de détail, adoptées successivement par M. Achard, n'ont réussi qu'à l'atténuer notablement sans la faire entièrement disparaître.

Au total, néanmoins, l'inconvénient qui en résulte, nul au point de vue de la sécurité, est minime au point de vue de la marche des trains, et le deviendrait surtout si l'ensemble du personnel avait l'expérience du frein électrique.

Dans un petit nombre de cas, des freins ont fonctionné mal à propos ; de fausses manœuvres ont pu y contribuer; mais cela est arrivé aussi, de même que quelques cas de non-desserrage, par suite de rupture de pièces ou d'interposition de corps durs déterminant le calage d'un manchon d'enroulement sur son arbre. Le frein fonctionne alors par cette cause mécanique, comme il fonctionne normalement sous l'action de l'électricité.

Un fait plus grave est celui de trois ruptures d'attelages que signale le même dossier. Ces accidents, qui n'ont eu

d'ailleurs aucune conséquence fâcheuse, et qui ne pouvaient pas en avoir, puisqu'ils se produisaient au moment de l'arrêt à une station, ne semblent pas devoir s'expliquer, non plus que les secousses au moment de l'arrêt, dont on s'est plaint quelqnefois, par le serrage trop prompt du frein.

Nous avons vu, en effet (note de la page 15), que si l'on serrait à fond (*) instantanément toutes les roues du train, on ne ferait qu'appliquer aux véhicules une accélération négative égale à gf, égale, par conséquent, dans les cas les plus favorables à l'adhérence, au quart ou tout au plus au tiers de l'accélération due à la pesanteur.

En ce qui concerne les voyageurs, cette accélération, leur étant transmise par les parois des voitures, ne produirait donc sur le corps qu'une pression inférieure au tiers de celle qu'il supporte lorsqu'on est étendu par terre. Il est même facile de voir qu'elle ne serait pas capable de faire perdre l'équilibre à un voyageur qui se trouverait debout.

Quant aux attelages, tous les véhicules ayant toujours à chaque instant la même vitesse, ils n'éprouveraient ***aucune tension*** supplémentaire.

Ainsi, et c'est un point sur lequel il n'était peut être pas inutile d'insister, on peut, sans aucun inconvénient, enrayer instantanément toutes les roues d'un train, pourvu que cela se fasse simultanément sur toute la longueur. Les chocs désagréables pour les voyageurs, ou dangereux pour les attelages, ne peuvent réulter que d'un défaut de simultanéité dans le serrage des freins.

Il est vrai que si chacun des freins n'agit que progressivement, il est moins nécessaire qu'ils soient attaqués bien simultanément, les différences disparaissant dans la durée

---

(*) On verra, dans la troisième partie, ce qu'il faut entendre par ce serrage à fond qui donne le maximum de résistance.

de la mise en action ; mais chercher, par ce motif, à avoir des freins à action lente, ce serait sacrifier le principal à l'accessoire.

Nous avons vu que le frein Achard présente les meilleures conditions pour un serrage simultané. Cependant il peut se faire que les différences inévitables du réglage des sabots ou de petites différences dans les dimensions des chaînes et des leviers de transmission de mouvement, et plus encore dans celles des poulies de friction et des manchons, en amènent d'appréciables dans la durée nécessaire pour le calage. Mais je ne pense pas que ces différences soient assez grandes pour que les véhicules aient le temps d'acquérir des vitesses sensiblement inégales et puissent éprouver des chocs fâcheux.

En fait, il est à remarquer que, sur les accidents dont nous parlons, deux se sont produits à une époque où la machine n'était pas munie du frein électrique ; lors du premier même, les véhicules de tête ne l'étaient pas, et c'est dans l'intervalle de deux d'entre eux que la rupture s'est produite ; dans le troisième, le rapport attribue expressément la rupture à ce que la machine s'arrêtait moins vite que le train, ce qui semble indiquer aussi que la machine n'avait pas le frein électrique.

C'est sans doute à cette même circonstance qu'il faut attribuer les secousses dont on s'est plaint au début. D'après mon expérience personnelle, je crois pouvoir dire que lorsque la machine est pourvue du frein, on n'éprouve vraiment pas de secousses au moment du serrage, et que, même avec une machine sans frein, elles ne constituent pas un inconvénient sérieux.

Dans le cas où la machine n'est pas munie du frein, M. Achard conseille, au lieu d'avoir des freins sur toutes les voitures, d'avoir seulement un groupe de freins en tête et un autre en queue, ces groupes communiquant ensemble électriquement, et les freins étant placés de préférence,

outre les fourgons, sur les voitures de 3e classe. On obtient encore de cette façon des arrêts assez rapides, ainsi que le montrent deux de nos tableaux d'expériences, et l'on comprend que la différence d'accélération entre la machine et le train est moins considérable. Mais il est clair aussi que l'on n'a plus alors le frein continu avec toute sa puissance.

Une des questions qui ont paru, à la Compagnie du Nord, préoccuper le plus le personnel et qui semblent avoir déterminé surtout la préférence dont le frein à vide a été l'objet, est celle de l'entretien.

Il y a à distinguer l'entretien des véhicules et celui des piles.

L'entretien des piles consiste à nettoyer les zincs et à renouveler le sulfate de cuivre tous les dix jours environ. La consommation est de 1 kilogramme par jour pour les deux piles d'un train, et, déduction faite de la valeur du cuivre métallique qui se dépose, M. Achard estime la dépense nette à 35 centimes par jour pour un train. Toutes les Compagnies, et celle du Nord en particulier, ont des agents au courant de ce genre de travail. L'agent de M. Achard, en le faisant par parties au lieu de le faire une seule fois tous les dix jours, y employait environ une heure et demie tous les deux jours, mais avec des pertes de temps qu'on éviterait dans une application plus générale.

Quant aux véhicules, l'entretien courant se réduit à un graissage que les agents habituellement chargés des freins effectuent sans difficulté. Ce qui a effrayé surtout au Nord, ce sont les dérangements qui se présentent de temps à autre, la difficulté pour des agents subalternes d'en découvrir la cause et les réparations nécessaires pour y remédier.

Au premier abord, le système offre une assez grande complication. Mais les pièces en sont robustes, faciles à

visiter. Le mécanisme n'offre donc pas de grandes chances de bris ou de dérangement, et, par le fait, après un service continuel et très actif de plus de deux ans, le nombre des voitures qui ont dû rentrer à l'atelier est fort restreint. Quant aux communications électriques, le seul point qui semble délicat et sujet à dérangement est la communication qui se fait par les paliers entre les conducteurs fixes et ceux des arbres tournants; on ne voit cependant pas qu'il y ait eu des défauts de fonctionnement provenant de là. Du reste une interruption qui s'y produirait ne ferait qu'annuler les freins d'une voiture.

Il serait peut-être imprudent d'émettre sur une question de ce genre, d'ordre exclusivement pratique, un avis différent de celui des hommes spéciaux qui ont dû l'étudier de près, avec la responsabilité de la solution. Cependant mon impression est qu'on s'est exagéré les difficultés de l'entretien et que le personnel des trains et des ateliers s'en serait parfaitement tiré lorsqu'il aurait eu, par l'emploi plus étendu du système, l'occasion d'en acquérir une plus grande expérience. Il n'y a rien dans les freins Achard, me semble-t-il, qui soit comparable comme délicatesse de construction et comme chances de dérangement à la triple valve du frein Westinghouse.

Ce qu'il offre de moins satisfaisant sous ce rapport, c'est qu'il renferme des pièces animées d'un mouvement continuel et assez rapide, et l'on peut craindre qu'à la longue l'usure n'amène des dérangements plus fréquents que ceux qu'on a pu observer au bout de deux ou trois ans. L'inventeur réaliserait certainement une amélioration importante et tout au moins écarterait bien des préventions, s'il parvenait à faire que l'arbre moteur ne fût entraîné par l'essieu qu'au moment de l'application du frein.

Il supprimerait en même temps la résistance à la traction qui résulte de ce mouvement et qui, d'après l'appréciation de quelques mécaniciens, ne serait pas négligeable.

Afin d'éviter les redites, nous réserverons pour la comparaison avec le frein Smith l'énumération de quelques points relatifs au fonctionnement général de l'appareil, qui ne comportent aucune discussion.

Ajoutons seulement un mot au sujet d'une crainte que pourrait inspirer l'emploi de l'accumulateur Planté, dont l'action ne se renouvelle pas constamment comme celle d'une pile ordinaire, mais s'épuise assez rapidement par l'usage. On pourrait craindre qu'à la suite d'un arrêt, l'appareil s'étant déchargé, le frein ne fût comme désemparé, de sorte que, par exemple, si l'on avait besoin de s'en servir au sortir d'une station où il aurait fonctionné, on ne le trouvât pas prêt.

Voici une expérience qui répond à cette question :

Le 11 octobre 1877, à l'arrivée à Paris (le frein n'ayant pas été employé pour l'arrêt définitif, mais ayant fonctionné, environ 15 minutes avant l'expérience, à Saint-Denis, et ensuite pour les ralentissements qui ont toujours lieu dans le voisinage de la gare des marchandises à la Chapelle), la pile, composée de 4 éléments Planté, a pu faire rougir un fil de 40 centimètres de longueur et de $1^{mm},25$ de diamètre. Le fil est devenu sombre au bout de 47 secondes (temps plus que suffisant d'ordinaire pour deux arrêts complets). Un quart d'heure plus tard, la pile était suffisamment chargée pour porter de nouveau le même fil au rouge et l'y maintenir pendant 25 secondes. Dix minutes après, on a pu porter le fil au rouge sombre.

Dans une autre expérience, à laquelle j'ai assisté, le fil placé dans le courant aussitôt après l'arrêt est resté rouge pendant environ 40 secondes.

Quand le frein est mis en action, la pile se décharge moins rapidement à cause de la plus grande résistance du circuit, et M. Achard assure avoir constaté qu'on peut faire 6 et même 8 arrêts consécutifs, ce qui paraît vraisemblable d'après les expériences précédentes.

Ainsi que nous l'avons vu, le frein Achard, dans sa disposition actuelle, n'est pas automatique. On peut lui restituer cette qualité par une disposition simple et qui sans doute fonctionnerait d'une manière satisfaisante. Ce serait de tendre par-dessus les voitures une corde qui réunirait entre elles les tiges des interrupteurs des deux fourgons de tête et de queue. En cas de rupture d'attelage, cette corde se tendrait,et agirait à la fois sur les deux interrupteurs.

M. Achard se propose même d'étudier une disposition plus complète et probablement plus sûre, fondée sur l'emploi d'un second circuit métallique dans lequel un courant électrique circulerait constamment. L'interruption de ce courant mettrait en action des relais placés dans les deux fourgons, et ces relais fermeraient le courant des freins. De là divers avantages : le mécanicien aurait mieux les freins dans sa main ; en outre, il utiliserait à la fois la pile de tête et la pile de queue, et cela permettrait de réduire chacune d'elles de moitié et probablement davantage, à cause de la plus grande uniformité des courants dérivés. Il est évident, en outre, que toute rupture d'attelage, en déterminant l'interruption du courant auxiliaire, produirait automatiquement le serrage des freins.

Dans les trains déjà pourvus d'une communication électrique, telle que la communication Prudhomme employée au Nord, ce perfectionnement n'exigerait que l'installation des relais dans les fourgons. (Voir la note A ci-après.)

DEUXIÈME PARTIE.

FREIN PNEUMATIQUE (SYSTÈME SMITH).

Ce frein (Pl. VIII), dont le principe avait été indiqué par l'ingénieur français Du Trembley, mais qui doit à M. Smith la forme pratique sous laquelle il est actuellement appliqué, utilise comme force motrice la pression de l'atmosphère sur un piston sous lequel on fait un vide partiel. Ce piston, dont la tige commande par des combinaisons de chaînes, de poulies et de leviers, les sabots des freins, fait serrer ceux-ci en déterminant une pression en rapport avec les dimensions du piston et avec la dépression manométrique obtenue.

Le vide devant être produit très rapidement, puisque la promptitude du serrage dépend de cette rapidité, il faudrait, si l'on employait une machine aspirante ordinaire à piston, lui donner d'assez grandes dimensions. C'est cette considération, sans doute, jointe à celle de la simplicité de construction et d'entretien, ainsi que de la sûreté de fonctionnement, qui a conduit à préférer un éjecteur à entraînement (*fig.* 6 à 11), dans lequel l'aspiration de l'air est produite par l'action d'un jet de vapeur (*).

La dépression obtenue par ce moyen ne dépasse pas 500 millimètres de mercure (**), soit deux tiers d'atmosphère, et ce point n'est atteint qu'au bout d'un temps assez long; la pression moyenne pendant la durée du serrage est

(*) M. Westinghouse, indépendamment de son frein à air comprimé, automatique ou non, a employé un frein à vide fonctionnant à l'aide d'une pompe aspirante : c'est la substitution de l'éjecteur à cette pompe qui paraît constituer essentiellement l'invention de M. Smith et caractériser son brevet.

(**) On est cependant arrivé avec certains éjecteurs jusqu'à 600 millimètres, et des constructeurs spéciaux affirment pouvoir atteindre 720 millimètres, en disposant d'une pression de vapeur de 10 kilogrammes, mais aussi moyennant une consommation de vapeur plus élevée que pour les faibles dépressions.

donc sensiblement moindre. Ne disposant ainsi que d'un effort limité par unité de surface, on a dû donner au piston des dimensions assez grandes, et, comme conséquence, éviter autant que possible l'emploi de parois métalliques lourdes.

Aussi au lieu d'un piston proprement dit, se mouvant dans un cylindre, a-t-on préféré employer comme appareil moteur un sac compressible en caoutchouc (Pl. VIII, *fig.* 1, 3 et 4), espèce de soufflet cylindrique dont l'intérieur communique avec l'appareil d'aspiration, et dont le fond fait l'office de piston. C'est donc sur ce fond qu'est adaptée la tige motrice. Dans la première disposition adoptée, ce soufflet et sa tige étaient horizontaux (*fig.* 3 et 4); on a préféré en dernier lieu les disposer verticalement; le fond fixe du soufflet est ainsi plus facile à adapter solidement sur le châssis de la voiture et la transmission de mouvement est plus directe et plus simple. Il y a un soufflet sur chaque véhicule ordinaire, deux sur le tender et deux sur la machine.

Le fond fixe porte une tubulure mise en communication avec la conduite générale qui relie les divers soufflets entre eux et à l'éjecteur. Cette conduite A se compose de tuyaux en fer fixés longitudinalement sous les châssis et reliés d'un véhicule à l'autre par des tuyaux en caoutchouc T munis intérieurement d'une hélice métallique qui les empêche de s'aplatir.

Ces tuyaux en caoutchouc se terminent par des raccords R en bronze, l'un mâle, l'autre femelle, qui viennent s'emboîter l'un dans l'autre, et qui sont maintenus rapprochés par des ressorts disposés de manière à les laisser se séparer l'un de l'autre en cas de rupture d'attelage.

Cette disposition dissymétrique des raccords nécessite, pour que l'attelage soit toujours possible malgré le retournement des véhicules, que ceux-ci portent à chacune de leurs extrémités deux tubes de raccordement munis, l'un, d'un raccord mâle, l'autre, d'un raccord femelle, disposés

toujours dans le même ordre par rapport au véhicule. Dans les premières voitures, la conduite en fer elle-même était double : on a préféré en dernier lieu n'avoir qu'une conduite se terminant en T à chaque extrémité; il y a économie de métal, et, à égalité de section totale, moins de résistance au mouvement de l'air, ce qui est fort important.

Le serrage et le desserrage des freins se font au moyen de deux valves. L'une, la *valve à vapeur* (M, *fig.* 13), qui met en action l'éjecteur, est une valve équilibrée tendant à se fermer sous l'action de la vapeur. Le mécanicien la manœuvre en tirant ou en poussant un levier *l*; l'effort nécessaire pour cette manœuvre est assez faible pour qu'on ait pu la faire opérer par l'appareil de déclanchement du sifflet automoteur (*fig.* 12 et 13) (*).

Il est important que la vapeur soit sèche.

La *valve à air* ou valve de desserrage est un simple clapet à fermeture hermétique, s'ouvrant de dedans en dehors, et placé sur un orifice que porte la conduite générale d'aspiration. En le soulevant, le mécanicien fait rentrer l'air dans la conduite.

Une autre soupape *s*, s'ouvrant dans le même sens, est placée à la base de l'éjecteur, sur l'extrémité de la conduite; elle empêche l'air de rentrer dans celle-ci quand l'éjecteur cesse de fonctionner; on peut donc supprimer l'admission de vapeur dans cet appareil dès que le serrage est produit; le serrage se maintient tant qu'on ne soulève pas la valve à air, tout en diminuant graduellement d'énergie par suite des rentrées d'air.

Le diamètre utile des sacs est actuellement de 430 millimètres; l'effort moteur est en conséquence d'environ $19^{k},75$ pour chaque centimètre de mercure de dépression; la transmission de mouvement le multiplie par 6; on dispose ainsi d'un effort sur les sabots de $118^{k},50$ pour chaque

(*) Disposition imaginée et étudiée par MM. Ed. Delebecque et Banderali.

centimètre de dépression. Avec le maximum de 50 centimètres, on obtient donc 5,925 kilogrammes répartis entre les quatre sabots, effort insuffisant pour caler les roues, surtout à grande vitesse (voir la troisième partie).

On a essayé sur quelques véhicules la disposition Hardy (Pl. VIII, *fig.* 2, 3 et 4), dans laquelle le soufflet en caoutchouc est remplacé par un cylindre en fonte divisé en deux parties par un diaphragme lâche en cuir ou en caoutchouc; c'est ce diaphragme qui porte la tige de commande des freins. On se propose d'en étendre l'application, mais plutôt aux machines qu'au matériel de transport.

Le poids total du frein appliqué aux voitures, y compris les appareils du frein ordinaire, est d'environ 650 kilogrammes; sur les machines, le poids des pièces spéciales au frein à vide est d'environ 300 kilogrammes, qui s'ajoutent au poids du frein déjà installé.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Les expériences faites à la compagnie du Nord sur le frein Smith peuvent se ranger sous trois chefs différents.

Les unes ont eu pour but, comme pour le frein Achard, de constater le résultat brut de l'action du frein sur un train lancé à plus ou moins grande vitesse. D'autres ont eu pour but de déterminer les meilleures conditions à adopter pour la construction de l'éjecteur.

D'autres enfin, entreprises sur ma proposition et effectuées en grande partie avec ma participation, ont eu pour but de rechercher la manière dont le vide se propage dans la conduite d'un train plus ou moins long, et par conséquent le temps qui peut s'écouler entre l'ouverture de la valve à vapeur et le serrage plus ou moins complet des freins des divers véhicules.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur les expériences qui ont trait à la construction de l'éjecteur : non qu'elles

n'aient une importance fondamentale dans l'établissement du frein, car l'efficacité de cet appareil dépend au contraire très directement de la puissance de l'éjecteur. La pression sur les sabots, l'énergie du serrage est proportionnelle au degré de vide que l'on peut obtenir; la promptitude avec laquelle le serrage a lieu dépend du volume d'air que l'on peut enlever dans un temps donné. Il est donc essentiel que l'éjecteur soit étudié à ce double point de vue, et sa construction mise en rapport avec la pression de vapeur dont on dispose habituellement et avec le nombre des véhicules des trains. C'est probablement à l'insuffisance de cet organe fondamental qu'on doit attribuer les résultats peu satisfaisants qu'on a obtenus dans quelques essais, et l'on comprend sans peine que, suivant qu'il répond plus ou moins à son objet, on soit conduit à des appréciations complètement divergentes sur le mérite du frein.

Cependant je ne me propose pas ici de faire un traité complet sur le frein Smith, mais seulement de constater les résultats qu'il a fournis dans les conditions d'établissement très satisfaisantes qui ont été adoptées au chemin de fer du Nord.

Bornons-nous donc dire à que les essais faits à l'atelier ont montré que la dépression obtenue ne va pas en augmentant indéfiniment avec la pression de vapeur; il y a un maximum pour une pression qui varie avec la construction de l'éjecteur. Toutefois la diminution n'est pas très rapide en général, lorsqu'on dépasse le maximum. On a reconnu qu'outre le jet principal de vapeur amené par un étroit orifice annulaire autour du tuyau d'arrivée de l'air il y a avantage à faire arriver un jet central. On a aussi essayé des éjecteurs n'ayant qu'un jet de vapeur central.

L'éjecteur est souvent double, c'est-à-dire composé de deux appareils juxtaposés recevant la vapeur d'un tuyau commun; mais on obtient de bons résultats avec des éjecteurs simples de dimensions suffisantes.

Les expériences faites sur les trains en marche ont montré qu'on peut obtenir très couramment des dépressions de 40 à 50 centimètres avec des pressions de vapeur variant de 5^k,500 à 8^k,500 dans la chaudière (les plus fortes dépressions ne correspondant pas nécessairement et même pas habituellement aux plus fortes pressions pour les appareils qui ont été employés dans ces expériences). On comprend que la pression finale est indépendante de la longueur du train; celle-ci n'influe que sur le volume total d'air à soutirer et par conséquent sur le temps nécessaire pour parvenir à cette pression; l'influence des rentrées d'air, qui augmentent avec la longueur du train, pourrait seule modifier la pression, et l'expérience prouve que cette influence est à peu près négligeable avec les éjecteurs adoptés.

L'expérience prouve, en outre, que sur la machine, et même sur le fourgon de tête, le vide se fait très rapidement et suivant une loi qui est sensiblement indépendante, au moins dans les premières secondes, de la longueur du train. Sur la machine, le mouvement de l'aiguille de l'indicateur de vide est trop rapide pour qu'on puisse le suivre et en déterminer la vitesse; sur le fourgon de tête on obtient généralement une dépression de 15 centimètres en une seconde et de 20 centimètres en 2 secondes.

Comme exemples des résultats bruts obtenus dans l'arrêt des trains, nous citerons les expériences suivantes :

EXPÉRIENCE DU 11 JANVIER 1878.

Train composé de douze véhicules, tous munis du frein, remorqué par la machine à grande vitesse n° 2835 dont les quatre roues motrices sont soumises à l'action du frein, ainsi que celles du tender :

	kilog.
Poids total du train environ.	146.400
Poids enrayé	136.000
Fraction enrayée.	0,93

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie.		CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	PRESSION dans la chaudière.	VIDE obtenu.	OBSERVATIONS.
		Pentes.	Rampes.					
				Train 119.				
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	kilog.	centim.	
Saint-Denis. .	66	0	0	298	30	7,75	45	Les sacs étaient branchés sur une conduite unique, la conduite de gauche étant supprimée au moyen d'obturateurs.
Pierrefitte. . .	50	»	2,6	115	20	7,50	45	
Gonesse. . . .	55	0	0	130	20	7,50	43	
Goussainville.	55	0	0	135	23	7,50	45	
Louvres. . . .	53	»	1	125	19	7,50	42	Le frein était fait de l'intérieur de la voiture 295.
Luzarches. . .	67	1	succédant à des pentes de 5mm0	250	23	7.25	48	Emploi de sable.
Orry-la-Ville.	75	1		»	25	7,00	42	
Chantilly. . .	82	1		340	28	7,00	45	
				Train 118.				
Chantilly. . .	48	»	1	100	15	6,50	45	Les deux conduites on été rétablies sur toute la longueur du train.
Orry-la-Ville.	52	»	1	148	18	7,75	43	
Luzarches. . .	35	»	1	115	17	7,50	42	
Louvres. . . .	70	1	»	300	27	7,25	46	Rails secs pendant toute la durée des essais.
Gonesse. . . .	67	»	0	300	23	7,00	47	
Pierrefitte. . .	70	5 2,6	»	330	25	7,00	47	
Saint-Denis. .	64	»	0	195	22	6,50	44	

EXPÉRIENCE DU 15 FÉPRIER 1878.

Train composé comme celui du 11 janvier, avec addition à l'aller (train 119) de deux écuries sans frein, et au retour (train 118) d'une seule écurie, ce qui donne les poids suivants :

	POIDS Total.	POIDS enrayé.	FRACTION enrayée.
	—	—	—
	kilog.	kilog.	
Train 119 environ.	160.400	136.000	0,84
Train 118	153.400	136.000	0,89

ARRÊTS.	VITESSE au moment du serrage.	INCLINAISON de la voie. Pentes.	INCLINAISON de la voie. Rampes.	CHEMIN parcouru jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS mis à le parcourir.	PRESSION dans la chaudière.	VIDE obtenu.	OBSERVATIONS.
				Train 119.				
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	kilog.	centim.	
Saint-Denis. .	70	0	0	320	26	5,5	50	Rails un peu gras pend toute la durée de l'e
Pierrefitte. . .	45	»	2,6	115	18	6,5	40	
Gonesse. . . .	44	0	0	115	18	8,5	37	
Goussainville.	45	0	0	123	20	8,0	38	
Louvres. . . .	45	»	1	140	19	8,0	40	
Luzarches. . .	60	1	succédant à des pentes de 5mm0	260	26	8,0	40	
Orry-la-Ville.	70	1		280	26	5.5	50	
Chantilly . . .	80	1		450	35	6,0	45	
				Train 118.				
Chantilly . . .	»	»	1	»	»	7,5	39	Rails un peu gras pend toute la durée de l'e
Orry-la-Ville.	48	»	1	150	18	7,0	42	
Luzarches. . .	45	»	1	130	17	7,25	40	
Louvres. . . .	68	1	»	295	26	7,0	45	
Goussainville.	75	0	0	298	26	7,5	47	
Gonesse. . . .	72	0	0	300	25	8,0	50	On a étranglé le passage d la vapeur pour dimi sa pression dans l'éjecteur.
Pierrefitte. . .	78	5 2,6	»	380	29	7,5	45	

Les degrés de vide obtenus sont mesurés en centimètres de mercure et observés sur la machine. On remarque, ainsi que nous l'avons fait observer plus haut, que, dans les limites de pression de vapeur où l'on s'est trouvé, le vide n'augmente pas avec la pression et diminue même en général ; ainsi le maximum de $0^m,50$ n'a été obtenu qu'avec une pression à la chaudière de $5^k,500$; dans un cas seulement, elle était de 8 kilog., mais on a étranglé le passage de la vapeur, ce qui revient à diminuer la pression d'écoulement.

D'autres expériences ont été faites pour observer le fonctionnement du frein dans les circonstances variées qui peuvent se présenter dans le service.

Ainsi, on a fréquemment ouvert les accouplements en caoutchouc vers l'arrière du train, et, de la sorte, mis la conduite en communication avec l'atmosphère, comme cela

aurait lieu dans le cas d'une rupture d'attelage se produisant dans cette partie du train. L'efficacité de l'appareil n'est pas affaiblie, à beaucoup près, autant qu'on serait porté à le croire ; mais c'est en pareil cas surtout que la puissance de l'éjecteur se manifeste ; il est d'ailleurs indispensable de le maintenir en action pendant tout le temps que le frein doit être serré.

Citons comme exemple deux arrêts du 26 octobre 1877, l'un à Goussainville, l'autre à Gonesse, l'un et l'autre à la vitesse initiale de 78 kilomètres et sur voie horizontale, mais le second avec les accouplements ouverts :

Goussainville, arrêt en. . .	450 mètres	et 36 secondes.
Gonesse, arrêt en.	490 —	38 —

Le procès-verbal de cet essai mentionne à Gonesse la circonstance suivante qui, probablement, devait exister également à Goussainville sans qu'on l'ait observée ou mentionnée : « Les rails étaient rendus glissants par la présence de feuilles mortes. »

Dans un autre essai avec les accouplements ouverts, à la vitesse de 60 kilomètres, arrêt en 300 mètres et 35 secondes.

Ces faits montrent, d'accord en cela avec les expériences dont il est parlé plus loin, que la résistance des conduites et l'inertie de l'air qu'elles contiennent influent considérablement sur la marche des phénomènes.

On a également constaté, dans un grand nombre d'essais, la possibilité d'utiliser pratiquement la combinaison dans laquelle le frein se met en action par l'appareil de déclanchement du sifflet automoteur. Un disque à distance, muni du dispositif nécessaire pour faire fonctionner ce sifflet, produit automatiquement, lorsqu'il est à l'arrêt, le serrage des freins et, par conséquent, l'arrêt complet du train. Au moyen de la communication électrique Prudhomme, qui

existe sur tous les trains composés exclusivement de voitures de la Compagnie du Nord, cet appareil de déclanchement, et par conséquent le frein, peut être commandé de l'un quelconque des véhicules du train. On en voit un exemple dans les expériences ci-dessus rapportées du 11 janvier 1878. L'interruption du circuit électrique par une rupture d'attelage détermine également le serrage du frein. Mais il importe, à ce dernier point de vue, de remarquer que ce serrage ne peut être effectif pour la partie antérieure du train que si la rupture se produit assez loin de la machine pour laisser derrière elle une longueur de tuyaux capable de s'opposer efficacement à la rentrée de l'air. Quant à la partie postérieure, elle ne peut plus être enrayée que par les freins ordinaires à main, à moins de recourir à des dispositions compliquées et d'une efficacité douteuse, qui n'ont pas été essayées au chemin de fer du Nord, et que la Compagnie propriétaire des brevets Smith semble avoir jusqu'à présent indiquées plutôt en vue d'une satisfaction théorique que comme des solutions réellement pratiques.

On voit qu'il n'y a rien là de comparable à l'automaticité proprement dite qui, lorsqu'une rupture d'attelage se produit en un point quelconque du train, détermine le serrage immédiat de tous les freins, ainsi que cela a lieu avec le frein Westinghouse ou dans la disposition primitive de M. Achard, et ainsi que cela peut se faire encore, avec le frein de cet ingénieur, au moyen des dispositions que nous avons indiquées.

La combinaison avec la communication électrique Prudhomme est effectivement réalisée dans les trains sur lesquels le frein à vide est actuellement en service courant. Toutefois, on n'a pas cru devoir mettre l'appareil de déclanchement à la portée des voyageurs, non plus, par conséquent, que des conducteurs d'arrière ou du milieu, mais seulement à celle du conducteur de tête.

Il nous reste à parler des expériences sur le serrage successif des divers véhicules d'un train.

Pour ces expériences, des indicateurs de vide, branchés sur la conduite générale, avaient été placés dans les fourgons de tête et de queue et dans une voiture placée vers le milieu du train. Dans chacun de ces véhicules se plaçaient deux observateurs, et, à un signal donné, l'un de ceux-ci commençait à compter les secondes, tandis que l'autre notait les positions de l'aiguille de l'indicateur sur un papier dont le contour circulaire affleurait aux divisions du cadran. Après coup, les indications obtenues étaient relevées numériquement et reportées sur une feuille de papier en coordonnées rectangulaires.

La plus grande difficulté était d'établir la simultanéité des observations, de façon que, dans chacun des trois véhicules, on commençât à compter le temps à l'instant même où la valve à vapeur du frein était ouverte. Deux moyens ont été essayés pour cela. Tantôt le mécanicien, après avoir donné le coup de sifflet pour éveiller l'attention, en donnait deux coups brefs, comme pour l'appel aux freins, au moment même où il ouvrait la valve, et le second coup servait de signal; tantôt le frein était déclenché de l'intérieur du véhicule du milieu et, dans celui-ci, on notait le temps à partir du moment où l'on pressait le bouton électrique, tandis que les observateurs placés en tête et en queue prenaient pour signal, soit le son du sifflet électro-automoteur déclanché en même temps, soit la sonsonnerie de l'appareil Prudhomme, mise également en action.

Le temps nécessaire pour que le son du sifflet de la machine parvienne à l'arrière du train, c'est-à-dire parcoure environ 80 mètres, n'est pas d'un quart de seconde, quantité négligeable, eu égard à l'imperfection de nos moyens d'observation, et dont il serait facile de tenir compte si on le jugeait convenable. Le premier mode d'observation

semble donc tout aussi satisfaisant que le second, au point de vue de la simultanéité des observations dans les divers véhicules. Seulement il est possible que la relation entre le moment de l'ouverture de l'éjecteur et le zéro des observations ne soit pas tout à fait la même, lorsque cette ouverture est faite par la main du mécanicien, que lorsqu'elle se fait automatiquement.

C'est dans les premiers essais que l'on a employé comme signal le sifflet de la machine, et il faut sans doute faire la part de l'inexpérience des opérateurs.

Au total, si ces expériences n'ont pas toute la précision qu'on exigerait dans des recherches scientifiques et qu'on ne pourrait obtenir qu'au moyen d'appareils enregistreurs, elles sont suffisantes pour l'objet que nous avions en vue, et qui était plutôt d'obtenir une indication générale du mode de fonctionnement du frein qu'une mesure précise de la vitesse de propagation.

Les premiers essais ayant montré que, non-seulement il y avait un retard appréciable de l'avant à l'arrière du train, mais encore que, dans chaque véhicule, la dépression ne s'élevait qu'assez progressivement, nous avons fait une série spéciale d'expériences pour savoir dans quelle mesure le nombre des véhicules du train influait sur la loi de cette progression. Ces expériences ont été faites sur le train en repos. La conduite générale était fermée successivement derrière le 7ᵉ, le 9ᵉ, le 11ᵉ et le 12ᵉ véhicule, et la loi de variation de la dépression était observée dans le fourgon de tête et dans la première voiture, et à la fin, en outre, dans la douzième (*).

On avait reconnu d'abord que, dans le fourgon de tête, avec deux ou trois voitures seulement, le mouvement de l'aiguille était trop rapide pour que l'observateur pût le

(*) La planche IX (*fig.* 1. à 4) donne les courbes représentatives de la marche des dépressions.

suivre. Avec les nombres de voitures ci-dessus, l'ascension de l'aiguille est moins rapide, sans différence bien franchement appréciable d'un cas à l'autre. Dans le 7e véhicule, l'ascension est moins rapide que dans le fourgon de tête et se ralentit légèrement à mesure qu'on ajoute des voitures en queue, mais la différence d'un cas à l'autre est toujours faible et semble devoir être à peu près négligeable en pratique. Dans le fourgon de queue, l'ascension est encore un peu moins rapide.

Il résulte donc de cette série spéciale que si, comme la théorie le veut évidemment, l'addition de véhicules en queue ralentit légèrement le serrage des freins de tête, ce ralentissement est à peine sensible en pratique, de sorte que les choses se passent à très peu près comme si l'aspiration ne commençait dans chaque véhicule que lorsqu'elle est, sinon terminée, au moins très avancée dans les véhicules antérieurs.

Ce résultat s'accuse peut-être plus franchement encore dans les observations faites en marche, comme si le mouvement du train mettait quelque obstacle au déplacement de l'air dans la conduite générale. En juxtaposant les courbes relevées simultanément aux extrémités et au milieu du train, on voit qu'elles sont toujours presque parallèles, de sorte que la dépression suit à peu près la même marche dans les divers véhicules, mais à des intervalles de temps qui dépendent de leur position dans le train.

Toutefois les courbes des véhicules antérieurs s'infléchissent davantage dans le haut, la marche de la dépression se ralentit plus longtemps avant le maximum, par suite de l'afflux de l'air provenant des véhicules postérieurs, tandis que, dans le fourgon de queue, la ligne reste droite presque jusqu'à la fin.

Ces faits se manifestent avec évidence sur les courbes relevées le 11 janvier 1878 (Pl. IX, *fig.* 5 et 5 *bis*, 6 et 6 *bis*). Il est bon de noter que les voitures alors en usage

avaient une double conduite de 35 millimètres de diamètre, et que, toutes les voitures étant tournées de manière à avoir leurs sacs branchés sur la même file de tuyaux, l'autre file avait été bouchée à l'aller (train 119) et fut débouchée au retour (train 118). Les branchements avaient le même diamètre que la conduite générale, circonstance à noter, car si les branchements avaient un diamètre inférieur à celui de la conduite, le retard des véhicules d'arrière devrait être moindre, toutes choses égales d'ailleurs, puisqu'on se rapprocherait du cas où tous les sacs, étant adaptés sur un réservoir unique de grandes dimensions transversales, devraient se vider tous à la fois.

On remarquera que si le retard des véhicules d'arrière semble être un peu plus grand à l'aller, avec une seule conduite, qu'au retour, avec la double conduite, la différence n'est cependant pas très grande, de sorte que le sac du fourgon d'arrière, lorsqu'on lui donne une seconde communication avec l'éjecteur par une conduite qui ne reçoit aucun branchement intermédiaire, ne se vide pas beaucoup plus vite pour cela. Ce fait semble prouver que la résistance qu'éprouve l'air dans cette conduite longue et étroite, et probablement aussi son inertie, jouent un rôle considérable dans les phénomènes.

En substituant, comme nous l'avons dit, une conduite unique à la double conduite des voitures primitives, on adopta le diamètre de 50 millimètres, qui donnait à peu près la même section totale. Il y avait néanmoins bénéfice, au point de vue de la résistance au mouvement de l'air, le périmètre de contact étant diminué. Toutefois les expériences que nous venons de relater ont conduit à adopter désormais le diamètre de 60 millimètres (*).

(*) C'est cette dimension qui a été appliquée sur le plus grand nombre des véhicules; mais en dernier lieu on paraît disposé à revenir à la double conduite, en donnant à chaque ligne de tuyaux un diamètre de 40 millimètres.

Il y a lieu de se demander si l'on doit en même temps augmenter celui des branchements des divers sacs. Il est vrai qu'en l'augmentant on diminue légèrement la perte de force vive que l'air éprouve en sortant de chaque sac, et par conséquent le travail total de l'éjecteur et le temps total du serrage complet; mais cet effet, d'ailleurs peu important, doit se faire sentir tout d'abord sur les premiers sacs, et les chocs qui se produisent entre les véhicules par suite du défaut de simultanéité du serrage doivent être, sinon plus prononcés que dans l'état primitif, au moins plus sensibles que si l'on avait conservé aux branchements leur premier diamètre. Dans ce dernier cas, en effet, l'amélioration obtenue aurait été en croissant de l'avant à l'arrière du train.

Je pense donc qu'il serait préférable de donner au branchement particulier de chaque sac un diamètre sensiblement inférieur à celui de la conduite générale.

Pour donner une expression numérique aux résultats de ces expériences, nous faisons connaître dans les tableaux ci-après : 1° l'instant où l'aiguille de l'indicateur de vide se mettait en mouvement dans chacun des trois véhicules où se faisaient les observations ; 2° l'instant où la dépression s'élevait dans chacun de ces véhicules à $0^m,20$ de mercure.

EXPÉRIENCES DU 28 DÉCEMBRE 1877.

TEMPS AU BOUT DUQUEL L'AIGUILLE SE MET EN MARCHE.

	TRAIN 119 de Paris à Creil. — Le signal est donné par le mécanicien.			TRAIN 118 de Creil à Paris. Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 6e véhicule.		
	Fourgon de tête.	7e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.	Fourgon de tête.	6e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.
	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.
Saint-Denis.	»	0	»	0	2	6
Pierrefitte.	1	0	2	0	2	3
Gonesse.	0	0	1	0	2	4
Goussainville.	1	0	3	0	1	5
Louvres.	1	1	2	0	»	3
Luzarches.	0	0	2	0	2	4
Orry-la-Ville.	0	1	2	0	2	6
Chantilly.	1	1	»	»	1	3
Total.	4	3	12	0	12	34
Moyenne.	0,6	0,4	2	0	1,7	4,25
Retard par rapport au fourgon de tête. . . .	»	— 0,2	1,4	0	1,7	4,25

TEMPS NÉCESSAIRE POUR PRODUIRE UNE DÉPRESSION DE 20 CENTIMÈT. DE MERCURE.

	TRAIN 119 de Paris à Creil. — Le signal est donné par le mécanicien.			TRAIN 118 de Creil à Paris. — Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 6e véhicule.		
	Fourgon de tête.	7e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.	Fourgon de tête.	6e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.
	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.
Saint-Denis.	»	5,5	»	6	7,5	9,0
Pierrefitte.	6,5	7,0	8,5	»	7,0	8,0
Gonesse.	6,5	7,5	7,0	5,5	6,5	8,5
Goussainville.	6,0	6,5	8,5	4,0	6,5	8,0
Louvres.	7,0	7,5	8,0	2,5	»	8,0
Luzarches.	6,5	7,5	8,0	6	8,0	9,0
Orry-la-Ville.	6,5	8,0	7,5	6	8,5	8,5
Chantilly	6,0	6,5	»	»	7,0	8,0
Total.	45,0	56,0	47,5	30,0	51,0	57,0
Moyenne.	6,4	7,0	7,9	5,0	7,3	8,4
Retard par rapport au fourgon de tête. . . .	»	0,6	1,5	»	2,3	3,4

Dans ces expériences, le train portait deux conduites de 35 millimètres de diamètre et les sacs étaient branchés, les uns sur l'une des conduites, les autres sur l'autre. Dans les suivantes, ainsi que nous l'avons déjà dit, on avait tourné les voitures de manière à avoir tous les sacs branchés sur la même conduite ; l'autre conduite était bouchée à l'aller (train 119) et libre au retour (train 118).

EXPÉRIENCES DU 11 JANVIER 1878.

TEMPS AU BOUT DUQUEL L'AIGUILLE SE MET EN MARCHE.

	TRAIN 111 de Paris à Creil. — Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 7e véhicule.			TRAIN 118 de Creil à Paris. — Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 6e véhicule.		
	Fourgon de tête.	7e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.	Fourgon de tête.	6e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.
	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.
Saint-Denis	»	»	»	0	2	5
Pierrefitte	0	3	4	0	3	8
Gonesse	4	3	5	0	2	5
Goussainville	0	5	5	»	»	»
Louvres	0	7	7	»	3	9
Luzarches	0	4	5	0	4	8
Orry-la-Ville	0	3	6	0	2	5
Chantilly	0	4	10	»	3	4
Total	4	29	42	0	19	44
Moyenne	0,6	4,1	6,0	0	2,7	6,3
Retard par rapport au fourgon de tête	»	3,5	5,4	»	2,7	6,3

TEMPS NÉCESSAIRE POUR PRODUIRE UNE DÉPRESSION DE 20 CENTIMÈT. DE MERCURE.

	TRAIN 119 de Paris à Creil. — Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 7e véhicule.			TRAIN 118 de Creil à Paris. — Le frein est fait et le signal est donné électriquement du 6e véhicule.		
	Fourgon de tête.	7e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.	Fourgon de tête.	6e véhicule.	Fourgon de queue, 12e véhicule.
	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes.	secondes
Saint-Denis.	»	»	»	3,5	6,5	11
Pierrefitte.	5	10	11	4,5	7,5	11
Gonesse.	7	10	12	4,5	6	10
Goussainville.	2,5	11	11,5	»	»	»
Louvres.	4	13,5	14,5	»	6,5	13
Luzarches.	3	11	12,5	4,5	8,5	12
Orry-la-Ville.	5	10	13	4,5	7.5	9,5
Chantilly	3,5	10,5	17	»	8	9
Total.	30,0	76,0	91,5	21,5	50,5	75,5
Moyenne.	4,3	10,9	13,1	3,1	7,2	10,8
Retard par rapport au fourgon de tête. . . .	»	6,6	8,8	»	4,1	7,7

Les expériences du 28 décembre donnent des résultats assez divergents à l'aller et au retour, au moins sous le rapport du temps nécessaire pour que le vide commence à se produire sur chaque véhicule. Cela tient, sans doute, pour une bonne part, à la manière différente dont le signal était donné pour compter le temps. Mais il est possible aussi que la différence corresponde en partie à un fait réel; la valve d'admission étant couverte dans le premier cas par le mécanicien, l'éjecteur entre peut-être plus franchement et plus énergiquement en action que dans le cas du déclanchement électrique.

La divergence est beaucoup moins prononcée pour le temps où la dépression s'élève à $0^m,20$ de mercure, temps beaucoup plus important à considérer puisqu'il correspond à un serrage très avancé.

En comparant les expériences du 11 janvier entre elles

et avec celles du train 118 du 28 décembre, dans lesquelles le mode d'observation était le même, on arrive à cette conclusion assez remarquable qu'il paraît y avoir avantage à ce que les sacs des divers véhicules soient répartis entre les deux conduites longitudinales et non branchés sur une seule conduite, même lorsque l'extrémité postérieure de celle-ci est mise en communication avec l'éjecteur par l'autre conduite; le retard au serrage pour un véhicule de rang donné est encore plus grand lorsque cette communication n'a pas lieu et que l'air s'écoule entièrement par l'éxtrémité antérieure de la conduite unique, sans que la différence qui en résulte soit aussi grande qu'on aurait pu le supposer, fait déjà déduit ci-dessus de la comparaison des courbes.

On voit aussi que le retard pour un véhicule donné est un peu plus grand pour la dépression de 0^{m},20 que pour la mise en marche de l'aiguille indicatrice; en d'autres termes, la pression s'abaisse un peu moins vite dans les véhicules d'arrière que dans le fourgon de tête; mais la différence est peu considérable, et l'on peut, avec une assez grande approximation, admettre que la marche de la pression est à peu près la même dans tous les véhicules, avec un retard proportionnel au rang du véhicule considéré dans le train.

En considérant ce retard d'après les résultats du train 118 du 11 janvier et du 28 décembre, résultats qui sont les plus comparables entre eux et qui paraissent offrir le plus de garanties d'exactitude, en prenant d'ailleurs la moyenne des retards au départ de l'aiguille et à son arrivée à 0^{m},20 de mercure, on obtient les résultats suivants qui peuvent être considérés comme le résumé de cette série d'expériences :

Retard moyen d'un véhicule au suivant. . . . . 0^{s},44
Temps nécessaire pour produire une dépression de 20 centimètres de mercure dans chaque

véhicule à partir du moment où l'aspiration
commence à s'y faire sentir. . . . . 4",5
Soit, pour une dépression de 1 centimètre . . . 0",225

Ces nombres sont évidemment subordonnés aux conditions d'installation. Ils représentent d'une manière générale, et sans prétention à une grande exactitude, le résultat fourni par les éjecteurs les plus puissants qu'on ait employés au chemin de fer du Nord et avec le tuyautage qui existait au moment de nos expériences ; je ne pense pas que les changements apportés à ce dernier point de vue dans les installations définitives les aient modifiés beaucoup.

On voit qu'avec des trains de 20 ou 24 voitures le retard au serrage dans les derniers véhicules doit devenir une fraction importante de la durée totale de l'arrêt.

Cette durée, en effet, n'augmente pas avec la charge du train ; elle devrait même diminuer si l'enrayage était instantané, puisque chaque véhicule ajouté représente un poids enrayé et diminue l'importance relative de la partie du poids de la machine qui n'est pas enrayée. Si donc elle augmentait, ce ne pourrait être qu'à raison du retard qui se produit au serrage de ces derniers véhicules, et par conséquent elle ne peut augmenter aussi vite que ce retard lui-même. Or, nous avons vu qu'avec 12 voitures la durée de l'arrêt ne dépasse jamais 35 ou 36 secondes, et qu'aux vitesses moyennes elle descend le plus souvent au-dessous de 25 secondes,

Une expérience faite sur un train de 20 voitures a montré qu'en effet la différence de marche des divers véhicules devenait alors assez grande pour déterminer des chocs désagréables ; il s'est même produit, à une station, une rupture d'attelage qui paraît avoir son origine dans ces différences, sans que cependant la cause directe et précise en ait pu être déterminée avec certitude.

C'est surtout cette expérience qui a conduit à augmenter

le diamètre des conduites et, soit par suite de cette augmentation, soit par suite de l'expérience que les mécaniciens ont acquise dans l'emploi du frein, ces chocs ne paraissent pas s'être fait sentir dans les trains express sur lesquels cet appareil a été installé, bien que, pendant la durée, et surtout vers la fin de l'Exposition universelle, ils aient souvent approché du maximum de 24 voitures.

Aucune plainte, à ma connaissance, ne s'est élevée parmi les voyageurs, et, d'après ce que j'ai pu observer moi-même, les arrêts se produisent avec une douceur très satisfaisante.

TROISIÈME PARTIE.

COMPARAISON DES DEUX FREINS.

Pour comparer les arrêts produits par les deux freins, il faut, pour le frein électrique, se borner aux expériences du 18 octobre et du 15 décembre 1877, dans lesquelles la fraction enrayée a été à peu près la même que dans celles du frein à vide, c'est-à-dire environ 0,90.

En ayant soin également de ne comparer entre elles que les expériences dans lesquelles l'état du rail a été à peu près le même, autant qu'on peut en juger par les indications portées sur les procès-verbaux, on trouve une supériorité notable dans le frein électrique. Nous n'essayerons pas de l'évaluer numériquement ; cela ne serait possible qu'à la suite d'un grand nombre d'expériences faites dans des conditions bien comparables.

Autant qu'on peut en juger par nos tableaux, cette supériorité serait moindre aux grandes vitesses qu'aux petites, et cela s'explique tout naturellement par cette considération que c'est pendant les premières secondes de l'arrêt

que l'infériorité du frein à vide se fait surtout sentir, à cause du temps plus long qui est nécessaire pour le mettre en action. Or, à mesure que la durée totale de l'arrêt est plus grande, cette première période de mise en train a naturellement moins d'importance relative.

Par contre, il résulte de cette même considération que la comparaison des espaces nécessaires pour l'arrêt complet du train ne fait pas ressortir suffisamment la supériorité réelle du frein électrique. En effet, il ne suffit pas toujours que le frein arrête le train dans un espace donné, il importe souvent qu'il en réduise le plus possible la force vive dès les premiers instants ; de cette façon, si l'obstacle n'a pas pu être évité, les conséquences de l'accident seront du moins atténuées autant que possible ; de même lorsqu'on serre le frein en cas de déraillement. Or nous avons vu que le frein Achard a une action retardatrice très sensiblement constante ; il résulte au contraire de nos expériences, ainsi que de celles qui ont été faites en Angleterre sur le frein à vide, qu'il n'en est pas ainsi pour ce dernier et que son action est notablement plus faible au début qu'au bout de quelques secondes.

Si l'on se rapporte à ce que nous avons dit des pressions des sabots sur les bandages dans les deux appareils, on est surpris qu'une différence aussi grande dans ces pressions n'en produise qu'une beaucoup moindre dans la durée des arrêts et par conséquent dans la résistance que ces freins apportent au mouvement du train. Ce fait a son explication, je crois, dans cette circonstance que le frein électrique, et non le frein Smith, détermine le calage des roues.

Pour justifier cette assertion, j'entrerai, au sujet de l'action des freins sur les roues, dans quelques développements en partie nouveaux, je pense, en partie tirés des récentes publications de M. capitaine Douglas Galton.

DIGRESSION SUR LES EFFETS DU CALAGE DES ROUES.

C'est une idée assez répandue que, lorsqu'on augmente graduellement la pression du sabot sur la jante d'une roue jusqu'au degré nécessaire pour produire le calage, la vitesse de rotation de la roue va aussi en diminuant graduellement, de sorte qu'on pourrait arriver à un point où la roue tournerait encore d'une manière continue, mais lentement ; c'est même cet état que l'on considère ordinairement comme l'idéal à réaliser dans la mise en action des freins. Il est facile de voir qu'il ne peut pas en être ainsi.

Considérons, pour simplifier le langage, un véhicule unique en équilibre sur une seule roue, et faisons abstraction du frottement de l'essieu sur ses coussinets, frottement dont l'effet très petit s'ajoute à celui du sabot et ne ferait que compliquer les énoncés sans changer les raisonnements. Quand le véhicule a un mouvement uniforme qu'il conserve indéfiniment, le moment, par rapport à l'axe de l'essieu, de la réaction du rail, doit être égal et de signe contraire à celui de la réaction du sabot ; sans cela, la roue ne tournerait pas uniformément, elle aurait une accélération angulaire proportionnelle à la différence des valeurs absolues des moments, et sa vitesse angulaire irait en augmentant ou en diminuant indéfiniment. Puisque ces deux forces sont appliquées à la même distance de l'axe, leurs composantes tangentielles doivent être égales.

Si donc on augmente la pression du sabot et, par conséquent, son frottement, la réaction tangentielle du rail devra augmenter de manière à rester égale à ce frottement ; comme la charge normale reste constante, le rapport de la réaction tangentielle à la réaction normale va en augmentant. En d'autres termes, la réaction du rail, résultante de ces deux forces, fait un angle de plus en plus ouvert avec sa composante normale ou avec le rayon de la roue.

Tant que cette réaction reste comprise dans l'angle de frottement, ou que sa composante tangentielle reste inférieure au frottement qui correspond à la charge sur rail, il ne peut pas y avoir glissement ; cela résulte essentiellement de la nature même du frottement ; le point de contact de la jante avec le rail reste donc immobile, il est le centre instantané de rotation de la roue, et le mouvement de celle-ci est un roulement pur qui s'effectue avec une vitesse angulaire déterminée par la vitesse de translation du train.

Ainsi, lorsqu'on augmente la pression du sabot jusqu'à ce qu'il exerce un frottement égal à la limite que nous venons d'indiquer, la roue continue à rouler sans glisser. Cela n'empêche pas que la résistance opposée à la marche du train, résistance qui est égale à la réaction tangentielle du rail, n'augmente précisément autant que le frottement du sabot.

Si ce frottement devenait exactement égal au produit de la charge sur rail par le coefficient du frottement entre le bandage et le rail, produit qui est le maximum de la réaction tangentielle que ce dernier puisse exercer, la roue tournerait encore indéfiniment en vertu de sa vitesse acquise. Mais pour peu qu'il dépasse cette limite, la différence des moments détermine une accélération angulaire négative, par suite de laquelle la vitesse angulaire doit devenir nulle au bout d'un temps plus ou moins long.

Cette vitesse ne peut pas devenir négative, en raison de la nature de la force qui produisait l'accélération négative, force qui, étant un frottement, agit en sens contraire du mouvement ; si celui-ci pouvait changer de sens, il en serait de même du frottement du sabot qui, alors, donnerait un moment de même signe que celui du frottement du rail. Lors donc que la vitesse angulaire est devenue nulle, elle reste nulle indéfiniment, la roue est calée. La réaction tangentielle du sabot s'abaisse alors tout d'un coup pour devenir égale au frottement du rail, et c'est ce qui fait que l'accélération angulaire négative disparaît.

La roue ne peut donc, on le voit, présenter que deux états permanents différents : le roulement pur, qui subsiste aussi longtemps que le frottement du sabot est insuffisant pour déterminer le calage, et, lorsque ce frottement est suffisant, le glissement pur ou calage. C'est seulement dans le passage d'un de ces états à l'autre qu'il peut y avoir à la fois roulement et glissement (*), mais c'est un état essentiellement transitoire déterminé par l'inertie de la roue, et qui disparaît aussitôt que sa force vive de rotation est épuisée.

La durée de cette période transitoire est plus ou moins longue suivant que la pression du sabot surpasse plus ou moins la limite de calage. Si l'on suppose qu'elle reste constante, le mouvement angulaire de la roue sera uniformément retardé et la durée de la période sera, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la vitesse initiale.

Ces conclusions théoriques sont confirmées par les récentes expériences de M. Douglas Galton, qui, d'une part, a constaté l'existence de la période transitoire, pendant laquelle la rotation s'anéantit, et, d'autre part, a reconnu que dans une expérience à la vitesse de 15 milles par heure, il fallait environ trois quarts de seconde pour caler la roue, et, à 60 milles, trois secondes; le rapport des durées est exactement celui des vitesses.

Remarquons, en passant, qu'avec le frein Achard, et en général avec les freins à entraînement, la durée de cette période d'immobilisation doit être sensiblement moindre, parce que, tant que la roue continue à tourner, la tension de la chaîne des freins augmente, et cela très rapidement, déterminant une augmentation correspondante de la pression et du frottement des sabots. Le temps nécessaire pour que le travail de ce frottement détruise la puissance vive de rotation des roues est diminué en conséquence.

(*) Plus généralement, cet effet se produira dans une certaine mesure toutes les fois qu'on changera le serrage du sabot.

Il résulte de cette circonstance que, dans ces freins, après l'immobilisation des roues, la pression des sabots doit être notablement supérieure à celle qui suffirait strictement pour déterminer le calage.

Mais quelle est la valeur de cette dernière pression ; quelle est la résistance du train avant et après le calage ? Cette question se complique un peu par la considération des changements que les coefficients de frottement éprouvent avec les vitesses relatives et avec l'état des surfaces.

M. l'ingénieur en chef Bochet a montré, par les expériences de M. J. Poirée et ensuite plus complètement par les siennes propres, que le frottement diminue dans une proportion considérable à mesure qu'augmente la vitesse relative des surfaces en contact. M. Galton l'a vérifié dans le cas particulier du frottement des sabots sur la jante des roues.

Lorsque la roue roule sur le rail, la vitesse de son point de contact avec celui-ci est nulle ; l'effort tangentiel nécessaire pour déterminer le glissement est donc égal à la charge multipliée par le coefficient de frottement à vitesse nulle. Si ce n'est pas à proprement parler le frottement au départ, qui ne se produit peut-être qu'à la suite d'un contact prolongé entre les surfaces, c'est au moins le frottement maximum. C'est ce frottement qui doit être surpassé par celui du sabot pour qu'il y ait calage.

Ce frottement maximum représente donc la résistance opposée au déplacement du véhicule au moment où la pression du sabot atteint la limite de calage et où le glissement va commencer, mais n'existe pas encore.

Quand la roue est calée, son point de contact avec le rail glisse au contraire sur le rail avec une vitesse égale à celle du train. Le frottement au contact, et, par conséquent, la résistance qu'éprouve le véhicule, n'a donc plus que la valeur réduite qui correspond à cette vitesse.

Pour montrer l'importance de cette réduction, il me suffira de rappeler que, dans les expériences de M. Bochet,

le frottement d'une roue sur le rail, la roue étant encore ronde et sans méplat formé, a passé d'une valeur moyenne de 0.30, pour une vitesse nulle, à celle de 0.16 pour une vitesse de 20 mètres par seconde (72 kilomètres par heure). Ainsi, pour un train lancé à cette vitesse, la résistance se réduit dans le rapport de 30 à 16, c'est-à-dire à très peu près à moitié, depuis le moment où le sabot atteint la pression de calage jusqu'à celui où la roue est immobilisée. Pendant la période de transition nécessaire pour cette immobilisation, elle passe par toutes les valeurs intermédiaires, en même temps que la vitesse relative de la jante par rapport au rail.

La résistance après le calage est précisément égale (sauf la variation des valeurs numériques suivant les cas) à celle que produirait un frein dont la pression serait seulement les $\frac{16}{30}$ de la pression de calage. On voit par là pourquoi le frein Achard, qui cale les roues, ne s'éloigne pas beaucoup, dans ses effets, du frein à vide, qui reste bien au-dessous de la pression de calage, et cela malgré le retard au serrage qui se produit avec ce dernier.

Cette influence fâcheuse du calage est d'autant plus prononcée que la vitesse du train est plus grande.

M. Douglas Galton a constaté cette influence de la manière la plus nette. Ainsi, il rapporte les deux expériences faites au moyen d'un fourgon que l'on détachait de la machine lorsqu'il était lancé à une certaine vitesse. Dans la première, la pression sur les sabots s'élevait à 24.010 livres et suffit pour caler les roues lorsque la vitesse fut réduite à 52 milles par heure (84 kilomètres); l'arrêt, sur une voie de niveau, exigea plus de 30 secondes et un parcours supérieur à 400 yards (366 mètres). Dans la seconde, la pression, qui était de 17.500 livres seulement, ne détermina pas le calage, et l'arrêt (sans aucun doute avec la même vitesse initiale) fut obtenu en 11 secondes et demie, avec un parcours de 189 yards

(173 mètres), et cela malgré une pente de 1 pour 1056.

M. Galton a encore mesuré la résistance due aux freins et en a constaté les variations en mesurant directement la tension de la barre de traction. Au moment où les roues sont immobilisées, cette tension éprouve une diminution brusque, et, dans certains cas, la résistance après le calage n'était pas beaucoup plus de deux fois aussi grande que la résistance ordinaire du train, les freins non serrés. Je n'ai pas sous les yeux les détails de ces expériences. Mais, d'après le tableau que donne M. Galton des coefficients de frottement des bandages sur les rails à différentes vitesses, la diminution de ce frottement, lorsque la vitesse augmente, serait encore beaucoup plus grande que dans les expériences de M. Bochet, et, par conséquent, l'effet du calage plus grand que nous ne l'avons trouvé ci-dessus.

En résumé, nous trouvons justifiée à la fois par la théorie et par l'expérience l'influence fâcheuse du calage des roues, influence dont on avait, en général, le sentiment, mais qui était toujours contestée et à laquelle surtout on n'aurait jamais cru pouvoir assigner une importance comparable à celle qu'elle a réellement.

Les mêmes considérations expliquent ce qui se passe lorsqu'une machine patine. On sait qu'au moment où l'adhérence est vaincue la roue s'accélère subitement et se met à tourner quelquefois assez vite pour déterminer des ruptures de bielles. C'est qu'en effet la force motrice, rapportée à la circonférence de la roue, s'étant trouvée supérieure à l'adhérence, c'est-à-dire au frottement maximum à vitesse nulle, surpasse, à plus forte raison, le frottement réduit qui s'établit lorsque la jante prend une vitesse relative par rapport au rail, et plus cette vitesse augmente, plus l'excès du moment moteur sur le moment résistant augmente encore. Ce n'est donc pas seulement la vitesse angulaire, mais bien l'accélération angulaire, qui va toujours croissant.

Nous venons de parler d'une expérience dans laquelle le calage des roues ne s'est produit qu'après une certaine diminution de la vitesse. En effet, la pression nécessaire pour le déterminer dépend de la vitesse. L'effort tangentiel est toujours le même ; il est égal à la charge sur rail multipliée par le coefficient d'adhérence (ou de frottement maximum à vitesse nulle). Mais le coefficient de frottement du sabot sur le bandage est d'autant moindre, et, par conséquent, la pression normale nécessaire pour produire cet effort tangentiel est d'autant plus grande, que la vitesse relative de ces deux surfaces, qui n'est autre que la vitesse du train, est elle-même plus grande.

D'après M. Galton, les pressions de calage aux vitesses respectives de 24, de 48 et de 96 kilomètres seraient entre elles comme les nombres 1,42, 1,83 et 4,14. On voit par là combien, dans l'appareil de M. Achard, la tension des pièces doit augmenter avec la vitesse, et cela d'autant plus que la tension, ainsi que nous l'avons dit, continue à augmenter au delà de la pression de calage pendant le temps nécessaire à l'immobilisation de la roue.

Une fois le calage opéré, la vitesse relative du point de contact du bandage et du rail est égale à la vitesse même du train ; le coefficient de frottement et par conséquent la résistance du train doivent donc augmenter à mesure que celui-ci se ralentit. Cependant nous avons vu que la résistance est très sensiblement constante avec le frein Achard. Il y a donc une cause qui la diminue de manière à produire une compensation. Cette cause est évidemment la modification que le bandage subit à son point de contact avec la roue. Le glissement sur le rail produit, en ce point, une petite facette qui se polit de plus en plus. Le polissage diminue évidemment le frottement ; il n'est pas impossible que le changement d'étendue de la surface d'appui intervienne aussi, car l'indépendance entre cette surface et le frottement n'est exacte que dans certaines limites. M. Bo-

chet a constaté que, pour les pressions supérieures à 100 kilogrammes par centimètre carré (et c'est le cas ici) le coefficient de frottement augmente avec la pression spécifique, et par conséquent diminue lorsque celle-ci diminue par l'accroissement de la surface d'appui.

Quoi qu'il en soit de cette interprétation, M. Douglas Galton a constaté directement que le frottement diminue à mesure que le glissement se prolonge, même pendant un petit nombre de secondes. Cette diminution est considérable dans le frottement des sabots sur les bandages; elle est moindre dans celui des bandages sur les rails, sans doute parce que la surface du rail se renouvelle constamment.

Il est remarquable que, dans l'appareil Achard, la compensation se fasse d'une manière vraiment rigoureuse entre les causes qui tendent à augmenter et celles qui tendent à diminuer la résistance.

Nous avons vu que la résistance opposée au mouvement du véhicule atteint son maximum au moment ou la pression acquiert une valeur suffisante pour déterminer le calage de la roue, et qu'ensuite, pendant le temps nécessaire pour que la roue soit immobilisée, cette résistance redescend à la valeur beaucoup moindre qui subsiste pendant le calage, valeur d'autant moindre que la vitesse du train est plus grande. Ces changements considérables en sens opposés s'opèrent en 2 secondes, ou 3 secondes tout au plus, et à des instants un peu différents pour les diverses véhicules. C'est là sans doute la cause des quelques secousses qu'on éprouve au moment du serrage du frein et des irrégularités que nous avons signalées dans nos tracés graphiques au début de chaque arrêt.

Il résulte de toute cette discussion que, pour obtenir par l'action des freins le maximum de résistance, il faut atteindre d'aussi près que possible, sans l'atteindre complètement, la pression qui déterminerait le calage à la vitesse actuelle du train. Le calage des roues que le frein Achard, tel au

moins que nous l'avons vu fonctionner au chemin de fer du Nord, produit nécessairement, entraîne une diminution considérable de résistance.

Nous avons vu que cet inconvénient compense en partie, au point de vue de l'arrêt, l'infériorité que le frein Smith présente au point de vue de l'instantanéité et de l'énergie du serrage. Par rapport au frein Westinghouse, autant qu'on peut en juger par les expériences de M. Douglas Galton, la compensation se ferait même au profit de ce dernier, qui semble donner des arrêts un peu plus rapides que le frein Achard. Toutefois la différence est peu considérable, et, pour pouvoir faire une comparaison certaine, il faudrait opérer dans des conditions entièrement pareilles de part et d'autre, au point de vue de l'état du rail aussi bien que de la fraction enrayée.

RÉSUMÉ.

En résumé, le frein Achard l'emporte beaucoup sur tous les autres freins continus et, en particulier, sur le frein Smith, pour la promptitude et la simultanéité de l'enrayage des différents véhicules; sous ce rapport, et contrairement à ce qu'on se figure, il offre moins que tout autre de chances de rupture d'attelages et de chocs irréguliers entre les véhicules. Sa supériorité à cet égard est d'autant plus grande que le train est plus long.

Ces avantages sont en partie compensés par le défaut qu'a ce frein, au moins dans son mode actuel de construction et de fonctionnement, de procéder par calage complet des roues. Au point de vue notamment de la résistance du train et de la retardation de son mouvement, il résulte de cette circonstance que le frein Achard, tout en restant sensiblement supérieur au frein Smith, n'a pas à beaucoup près une supériorité qui soit en rapport avec la grandeur

des pressions exercées sur les sabots, dans l'un et l'autre frein.

Le calage offre aussi quelque inconvénient au point de vue de la douceur de l'arrêt.

Nous n'insistons pas sur celui bien connu qu'il entraîne au point de vue de l'altération des bandages, soit dans la régularité de leur rondeur, soit dans la nature du métal. La formation des méplats n'a peut-être pas grand inconvénient pour la douceur du roulement, surtout quand les arrêts sont fréquents, car ces méplats n'ont jamais qu'une flèche très petite et doivent se détruire les uns par les autres. Quant à l'altération du métal, qui peut être sensible, au moins quand ce métal est aciéreux, les expériences faites au Nord n'ont pas encore permis de la constater, mais cela ne prouve pas qu'elle ne puisse devenir sensible au bout d'un temps plus long.

Nos expériences, en montrant que la résistance du train est constante, semblent prouver par là même que le frein Achard, malgré le calage, l'emporte encore sur tous les autres par la rapidité avec laquelle il fait décroître, dans les premières secondes, la force vive acquise du train.

Outre ces conditions, les avantages et les inconvénients pratiques des deux appareils que nous étudions peuvent, semble-t-il, se résumer comme il suit :

Le frein Achard est complètement indépendant de la machine; il conserve donc toute sa puissance lorsque celle-ci est avariée ou manque de pression; il peut facilement être rendu automatique, et, en tout cas, il peut être mis en action séparément dans les deux parties d'un train qui vient à se rompre.

On peut facilement le disposer de manière à être mis en action par les disques à l'arrêt et autres signaux fixes.

Il est toujours à la disposition du conducteur d'arrière, ce qui est important, car cet agent s'aperçoit plus facilement que ceux qui sont vers la tête de tout accident qui

survient dans le train, tel que déraillement partiel, incendie, etc., et il peut être averti par les agents de la voie lorsque ceux-ci constatent un fait de ce genre. Avec une communication électrique supplémentaire, on pourrait le mettre à la disposition d'un agent placé dans un véhicule quelconque, ou même d'un voyageur.

Il peut être appliqué facilement à un nombre quelconque de véhicules, sans que l'enrayage cesse d'être sensiblement instantané et simultané sur toute la longueur du train. Il admet l'interposition de véhicules non munis du frein, car rien n'est plus facile que de franchir ceux-ci au moyen de conducteurs métalliques mobiles.

Comme considération accessoire, on peut remarquer que, par le fait même que les roues se calent, les sabots s'usent moins que lorsqu'ils subissent le frottement de la roue pendant toute la durée de l'arrêt. De là une diminution d'entretien et un état de réglage habituellement meilleur.

Enfin, le frein Achard est construit entièrement en métal ; il est formé de pièces robustes et qui paraissent peu susceptibles de s'altérer lorsque les voitures restent longtemps sans servir. En tout cas, s'il se produisait dans l'une d'elles quelque altération de nature à empêcher le fonctionnement du frein, cela ne gênerait aucunement les freins des autres voitures, pourvu que les attelages fussent en bon état.

Par compensation, il présente les inconvénients suivants :

Il ne comporte pas de serrage partiel; si l'on veut seulement modérer la vitesse d'un train au lieu de l'arrêter, on ne peut procéder que par serrages et desserrages successifs, opérations qui, chaque fois, prennent un certain temps et entraînent quelques secousses.

Après un arrêt, on éprouve quelquefois, bien que rarement, une certaine difficulté à desserrer.

Il exige, du moins si l'on veut profiter de tous les avan-

tages que nous venons d'énumérer, l'emploi de deux piles au moins, et par conséquent d'un fourgon en tête et d'un fourgon en queue, et même d'une troisième pile sur la machine pour les manœuvres.

Ces piles réclament un entretien régulier sans lequel le frein serait frappé plus ou moins complètement d'impuissance.

Le frein présente des pièces en mouvement continuel, qui s'usent et qui donnent une certaine résistance au mouvement.

Enfin, il présente une construction un peu compliquée et repose sur des principes et sur l'emploi d'un agent physique avec lesquels les agents subalternes de l'exploitation des chemins de fer sont peu familiers; par suite, ils ont quelque difficulté à découvrir la cause des faits anormaux qui viennent à se produire, et à y porter remède.

Le frein Smith présente des avantages et des inconvénients qui sont presque exactement opposés à ceux du frein Achard.

Il est d'une construction très simple et les agents en comprennent sans peine le fonctionnement. Cette simplicité le rend peu sujet à se déranger; il ne peut guère fonctionner intempestivement.

L'appareil moteur de chaque véhicule, aussi bien que l'appareil d'aspiration que porte la machine, ne semble pas susceptible de se détériorer par le chômage. C'est un des avantages sur lesquels insiste la compagnie qui exploite ce frein. Il y a sans doute quelques réserves à faire au sujet des soufflets en caoutchouc pour lesquels la conservation, soit en chômage, soit en fonctionnement, doit dépendre essentiellement de la plus ou moins bonne fabrication.

L'énergie du serrage peut être facilement réglée par le mécanicien et maintenue indéfiniment à un degré quelconque au-dessous du maximum.

Le desserrage est facile et sûr.

Il n'y a consommation de vapeur et par conséquent de force motrice qu'au moment de la mise en action ; les freins peuvent ensuite rester indéfiniment serrés; il n'y a qu'à enlever de temps à autre l'air qui rentre par les joints.

Les joints des tuyaux sont autoclaves, la pression de l'air extérieur tend à les tenir fermés. C'est un avantage des appareils fondés sur le vide par rapport à ceux qui emploient l'air comprimé.

Le frein conserve une grande partie de sa puissance lorsqu'il y a quelques fuites ou lorsque les tuyaux sont ouverts à l'arrière du train.

Il peut être facilement installé sur les machines, tenders et fourgons, de manière à mettre dans la main du mécanicien un moyen d'arrêt très puissant, même dans les trains auxquels on ne jugerait pas à propos d'appliquer complètement les freins continus.

On peut, au moyen d'une installation convenable sur la machine, le faire fonctionner par un disque mis à l'arrêt. Si le train est pourvu d'une communication électrique, on peut mettre le frein à la disposition du conducteur d'arrière ou même des voyageurs.

Par contre, il n'est pas automatique et ne semble pas susceptible de le devenir d'une manière sérieuse. En cas de rupture d'attelage, la partie postérieure du train ne peut plus être arrêtée qu'au moyen des freins à main; quant à la partie antérieure, le frein continu peut même y être paralysé si cette partie est très courte. On pourrait toutefois éviter ce dernier inconvénient en adaptant aux tuyaux de raccord des soupapes qui se fermeraient spontanément au moment de la séparation des véhicules.

Son fonctionnement est solidaire de celui de la chaudière, et, en cas de manque de pression, il devient impuissant au moment même où l'on est privé d'un autre moyen d'arrêt, la contre-vapeur.

Avec les dimensions qu'on lui donne ordinairement, on reste toujours fort au-dessous de la pression de calage et, par conséquent, on n'utilise pas toute la puissance dont on pourrait disposer eu égard au nombre des sabots. Cependant ces dimensions sont déjà considérables et les appareils sont assez encombrants, au moins sur les machines; les tuyaux ont également un diamètre qu'on ne pourrait guère dépasser.

Les parois flexibles en caoutchouc ou en cuir que renferme ce frein offrent quelque chose de peu satisfaisant pour des appareils de chemins de fer. Non seulemeut elles sont sujettes à être perforées ou déchirées par les obstacles de la voie ou les corps projetés, mais en cas d'incendie d'une voiture, c'est-à-dire précisément dans un cas de nécessité pressante, le frein serait infailliblement paralysé d'une manière absolue pour les voitures placées à l'arrière de la voiture incendiée, et plus ou moins complètement pour celles d'avant.

La simple détérioration d'un sac produirait un résultat analogue. Elle ne serait généralement pas facile à découvrir en cours de route, et d'ailleurs il n'y a, au moins dans l'installation adoptée au Nord, aucun moyen de mettre l'appareil d'un véhicule en dehors de la communication pneumatique.

Si l'on veut introduire dans un train des véhicules non munis du frein, on ne peut les placer qu'à l'arrière, à moins qu'ils ne portent des tuyaux comme les véhicules à frein.

Pour mieux apprécier la valeur de ces diverses considérations, il faut se rappeler le triple rôle des freins, qui est, suivant la remarque de M. l'inspecteur général Couche (*) :

1° De produire l'arrêt normal des trains aux stations;

(*) *Voie, matériel roulant, etc., des chemins de fer*, tome III, page 404.

2° De produire exceptionnellement l'arrêt en présence d'un signal ou devant un danger quelconque;

3° De modérer la vitesse sur les pentes.

A ce dernier point de vue, le frein Smith présente une supériorité incontestable par rapport au frein Achard, tel au moins qu'il a fonctionné jusqu'à présent. Mais il faut remarquer que ce point de vue a perdu beaucoup de son importance par l'emploi régulier de la contre-vapeur, surtout lorsqu'on admet pour règle, ainsi que cela se pratique au chemin de fer du Nord, de ne pas plus charger les machines à la descente qu'à la montée.

Au point de vue de l'arrêt aux stations, il y a peu de différence entre les deux appareils, puisque le frein Achard ne fait gagner qu'un très petit nombre de secondes à chaque arrêt, avantage qui est compensé par la facilité que le frein Smith donne au mécanicien de serrer ou de desserrer plus ou moins pour arrêter juste au point voulu. Quant à la douceur plus ou moins grande de l'arrêt, le frein Smith a peut-être quelque avantage, au moins pour les trains de peu de longueur.

Enfin, au point de vue de l'arrêt le plus prompt possible, en présence d'un signal ou d'un danger, le frein Achard est évidemment supérieur.

Remarquons que la plupart des inconvénients ou des imperfections de ce dernier frein dérivent de sa propriété de caler les roues. Or, il ne paraît pas impossible d'éviter ce calage, et, parmi les divers moyens qu'on peut imaginer pour cela, le plus simple est certainement de réduire l'intensité du courant électrique, de manière à limiter l'effort que les pôles de chaque électro-aimant peuvent exercer sur les chaînes des freins (*). Pour pouvoir appro-

(*) Quelques essais que M. Achard a faits dans ce sens, sur ma demande, semblent montrer, malgré l'imperfection des moyens employés, qu'en effet l'arrêt est au moins aussi prompt que lorsqu'on cale les roues.

cher beaucoup de la pression de calage sur tous les véhicules, il faudrait rendre aussi uniformes que possible les intensités des divers courants dérivés, ce à quoi on arriverait, notamment, en faisant agir simultanément les deux piles de tête et de queue.

Nous avons vu que cela serait possible au moyen d'une deuxième communication électrique fonctionnant par interruption de courant, qui, en même temps, rendrait l'appareil automatique. On conçoit même qu'il serait possible de placer sous la main du mécanicien un appareil faisant fonction de rhéostat, qui ferait varier l'intensité du courant en créant ou en supprimant une résistance et permettrait de régler à tout instant le serrage des sabots.

L'appareil ainsi amélioré et complété laisserait bien peu à désirer à tous les points de vue, et serait certainement très supérieur à tous les autres freins actuellement connus, surtout si, en même temps, on parvenait à éviter la rotation continuelle de l'arbre de l'électro-aimant.

Nous avons fait remarquer la facilité qu'on a d'intercaler des véhicules munis de simples conducteurs métalliques ou même dépourvus de toute disposition spéciale.

C'est un avantage que les freins pneumatiques, quels qu'ils soient, ne posséderont jamais, et qui, joint à l'instantanéité de la transmission, fait qu'un frein électrique peut seul être appliqué aux trains de marchandises.

Une semblable application peut sembler prématurée. Cependant elle serait fort importante, non seulement pour la sécurité des agents qui accompagnent ces trains (y compris ceux qui sont chargés par les expéditeurs d'accompagner diverses marchandises, notamment les bestiaux), mais encore pour éviter les accidents qu'ils occasionnent aux trains de voyageurs. Elle serait d'autant plus précieuse que, dans les trains longs, il est souvent impossible aux graisseurs d'arrière d'entendre l'appel aux freins fait par le mécanicien, et il leur est toujours impossible

d'appeler l'attention de celui-ci en cas de danger. La transmission électrique répondrait à ce double *desideratum*.

Quant au frein Smith, il constitue certainement un progrès considérable par rapport à l'ordre de choses antérieur. Il paraît difficile qu'il arrive jamais à remplir toutes les conditions essentielles que l'on doit demander aux freins continus, et à constituer ce qu'on peut appeler une solution définitive; mais sa simplicité, ainsi que la facilité avec laquelle il se prête à des applications partielles, par exemple à la machine et au fourgon de tête d'un train, peuvent le recommander comme un bon appareil de transition, propre à familiariser le personnel des chemins de fer et même le public avec les freins continus.

Peut-être ne sera-t-il pas inutile d'ajouter quelques remarques au sujet de l'automaticité des freins, propriété qui manque au frein Smith et au frein Achard, mais que ce dernier peut facilement acquérir. On la considère quelquefois comme ayant simplement pour but de déterminer, en cas de rupture d'attelage, l'arrêt spontané des deux parties du train. La rupture d'attelage étant un accident qui ne se produit presque jamais dans les trains de voyageurs (si ce n'est quelquefois par l'action même des freins continus), l'automaticité, ainsi envisagée, semble n'avoir qu'une importance à peu près purement théorique. Elle en acquerrait au contraire une très grande, à ce seul point de vue, s'il s'agissait de l'application aux trains de marchandises.

Mais si les ruptures d'attelages ne sont pour ainsi dire jamais la cause d'accidents dans les trains de voyageurs, elles sont souvent le premier effet d'un autre accident. C'est ce qui arrive presque toujours, par exemple, dans un déraillement. Or il est alors de la plus haute importance que les freins soient serrés spontanément avant que les agents aient eu le temps d'y pourvoir, en supposant qu'ils en aient la présence d'esprit ou même la possibilité.

C'est donc avec raison que l'administration anglaise, en-

visageant les freins au point de vue des accidents, a rangé l'automaticité parmi les conditions essentielles à remplir (*).

(*) Ces lignes ne donnent pas encore une idée complète des avantages de l'automaticité. Ainsi, il faut certainement placer en première ligne, parmi ces avantages, celui de signaler spontanément, par un arrêt du train, certaines défectuosités dans l'état de l'appareil. Dans le frein Westinghouse automatique, dans le frein électrique à courant permanent, comme le frein Achard primitif, toute défectuosité dans les accouplements de voiture à voiture, toute déperdition importante d'air ou d'électricité, est aussitôt révélée, et c'est là, de beaucoup, le défaut le plus à craindre dans les freins continus. Avec la disposition récente de M. Achard indiquée dans le texte et décrite dans la note B avec plus de détail, la garantie est un peu moins grande sous ce rapport, parce qu'il pourrait à la rigueur y avoir une interruption dans le circuit des freins sans qu'il y en eût une en même temps dans celui des relais, qui en est distinct, bien qu'avec une connexité intime.

En second lieu, il est à remarquer qu'un frein automatique devant être mis en action par un fait qui peut se produire en un point quelconque du train, et devant être mis en action sur chacune des parties en lesquelles le train peut se décomposer, la puissance qui détermine le serrage ne peut pas être localisée en un seul point du train, mais doit, au contraire, être répartie sur les divers véhicules ou au moins sur un certain nombre d'entre eux. De là résulte que la mise en action du frein n'exige pas un transport de force à grande distance, ce qui est un avantage évident au point de vue de la promptitude et de la simultanéité du serrage. C'est ainsi que, dans le frein Westinghouse automatique, chaque véhicule porte son réservoir d'air, et que cet air n'a qu'à passer de ce réservoir dans le cylindre moteur placé à côté, tandis que dans le frein Westinghouse non automatique ou dans le frein Smith, l'air doit être refoulé ou aspiré d'une extrémité du train jusqu'à l'autre extrémité.

C'est là un avantage de la plus grande importance. Il est vrai qu'il ne découle pas précisément de l'automaticité, il est plutôt un des éléments qui la constituent. Il peut exister sans elle, et c'est ce qui arrive, par exemple, dans tous les freins à entraînement (Heberlein, Becker, etc.) ; mais il semble indispensable pour la réaliser, de sorte que, qui dit frein automatique, dit, par là même, un frein pourvu de cet avantage.

Du reste, on entend presque toujours l'automaticité dans un sens trop restreint. Sans aller jusqu'à exiger qu'un frein fonctionne spontanément toutes les fois que cela pourrait être utile, ce qui

NOTE A.

EXTRAIT D'UN RAPPORT

Présenté au comité de l'exploitation technique des chemins de fer sur une Note de M. Achard relative à diverses modifications dans la construction et l'installation de son frein à embrayage électrique.

. . . .

Ces modifications ont été expérimentées sur un train de la compagnie de l'Est, qui va en continuer l'essai sur une plus grande échelle.

---

seul, à vrai dire, répondrait à une notion absolument complète de l'automaticité, mais ce qui serait demander à une machine plus que de l'intelligence, on peut du moins déterminer un certain nombre de cas importants dans lesquels le frein devrait agir. Ainsi, outre les cas précédemment indiqués d'une rupture d'attelage ou d'un défaut dans les accouplements, on peut d'abord envisager d'une manière plus générale un dérangement quelconque pouvant empêcher le frein d'obéir à la demande : tel serait, par exemple, pour les freins pneumatiques de toute nature, le cas d'une obstruction dans la conduite; à ce point de vue, le frein Westinghouse ne serait pas automatique. On peut encore demander que le frein se serre lorsque le train passe devant un signal à l'arrêt. C'est ce qu'ont réalisé, au chemin de fer du Nord, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, MM. Ed. Delebecque et Bandérali, au moyen d'un appareil de déclenchement électrique des freins substitué ou annexé au sifflet électro-automoteur. On conçoit encore qu'un frein puisse être mis en action toutes les fois qu'un véhicule viendrait à dérailler, lorsque la vitesse du train dépasserait une certaine limite, ou dans d'autres cas semblables.

L'automaticité prise dans un sens absolu est donc une qualité extrêmement complexe que chaque appareil peut ne pas réaliser sous certains rapports, tandis qu'il la réalisera sous d'autres rapports, et cela d'une manière plus ou moins complète et parfaite. La discussion ébauchée dans ce qui précède s'applique surtout à l'automaticité restreinte au cas d'une rupture d'attelage ou d'un défaut quelconque dans les accouplements.

Dans mon rapport du 10 mars 1879 sur les expériences faites au chemin de fer du Nord, je signalais comme un inconvénient du frein de M. Achard, le fait de présenter des pièces animées, pendant tout le temps de la marche du train, d'un mouvement de rotation, qui est à la fois une cause d'usure et celle d'une résistance à la traction qui peut être appréciable.

Par sa nouvelle disposition, M. Achard fait disparaître cet inconvénient, et cela d'une manière d'autant plus heureuse qu'en même temps il simplifie beaucoup la construction, sans nuire à l'efficacité de son appareil.

On se rappelle que, dans la disposition antérieure, un électro-aimant, ou plutôt un système de quatre électro-aimants à noyau plein, était calé sur un arbre qui tournait à côté d'un essieu par l'action de deux poulies de friction reposant sur celui-ci. Lors du passage du courant, cet électro-aimant serrait contre ses bases deux plateaux en fer qui, rendus ainsi solidaires du mouvement de l'arbre tournant, entraînaient avec eux deux manchons sur lesquels s'enroulaient les chaînes des freins.

Dans la disposition actuelle (Pl. VII, *fig.* 6 à 9), nous trouvons encore un électro-aimant *c* calé sur un arbre A parallèle à un essieu du véhicule et soutenu par des paliers qui lui permettent de tourner. A cet arbre sont attachées, non plus par l'intermédiaire de manchons fous, mais directement et à demeure, les chaînes EE qui, en s'enroulant, doivent serrer les freins. Pour serrer les freins, il faut donc simplement mettre cet arbre en mouvement. C'est le rôle qui est attribué à l'électro-aimant.

Cet électro-aimant, unique cette fois, a pour noyau un tube en fer calé autour de l'arbre en question. Ce tube s'épanouit à ses deux extrémités de manière à former deux rondelles plus larges BB qui, à un moment donné, viendront s'appuyer contre la surface de l'essieu, et jouer le rôle de poulies de friction. Au droit de l'électro-aimant, l'essieu

est renforcé par une enveloppe cylindrique en fer qui lui donne le diamètre convenable.

L'arbre de l'électro-aimant et des chaînes est suspendu au châssis du véhicule par deux bielles qui lui permettent de se rapprocher ou de s'éloigner de l'essieu. Mais il n'est pas entièrement libre d'osciller autour des points de suspension. Près de chacune de ses extrémités, il est pincé entre deux lames de ressort verticales qui tendent à le maintenir à l'aplomb des points de suspension. Dans cette position, les deux bases du noyau de l'électro-aimant, ou poulies de friction, sont à 10 ou 15 millimètres de la surface de l'essieu. Ces ressorts servent d'ailleurs à la transmission du courant.

Lorsque le courant passe, le magnétisme développé dans le noyaux l'attire vers l'essieu en fer, et si l'attraction est assez forte pour vaincre la résistance du ressort, les poulies de friction viennent s'appuyer sur l'essieu, l'arbre tourne et les freins sont serrés.

Ainsi, tandis que, dans la disposition antérieure, le rôle de l'électro-aimant était de caler les chaînes sur l'arbre tournant, ici, il consiste à presser les poulies de friction contre l'essieu et à faire tourner l'arbre.

On remarquera sans peine qu'actuellement l'électro-aimant est dans de moins bonnes conditions pour exercer son effort, car il agit latéralement au lieu d'agir par la surface entière de ses deux bases. Mais aussi la grandeur de cet effort n'a plus qu'une importance beaucoup moindre. En effet, dans le frein du Nord, la tension de la chaîne était égale, pendant toute la durée du serrage, au frottement des bases de l'électro-aimant sur ces deux plateaux, convenablement amplifié par les transmissions. Dans le frein actuel, cette tension pourrait être rendue complètement indépendante de l'action électro-magnétique, excepté pendant les premiers instants.

Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que le

frein Achard, dans sa disposition actuelle, n'est plus qu'une variante des freins à entraînement connus sous le nom de frein Heberlein, Noséda, frein du curé, etc. Ce qui en fait l'originalité, c'est le mode particulier de mise en prise des galets moteurs ou poulies de friction.

Or on sait que, dans ces freins, dès que le serrage a commencé, la pression des galets moteurs sur l'essieu s'accroît d'une composante de la tension même de la chaîne de serrage, pourvu que cette chaîne fasse un angle aigu avec la ligne des centres du galet moteur et de l'essieu. Il serait donc facile de disposer les choses de façon que, dès que le serrage a commencé, les poulies de friction fussent de plus en plus fortement serrées contre l'essieu et par conséquent plus sûrement entraînées par celui-ci, par l'action même de la chaîne de serrage, de sorte qu'on pourrait sans inconvénient intercepter le courant.

Autant qu'on peut en juger par les dessins, M. Achard paraît avoir usé de cette faculté dans une certaine mesure, la chaîne faisant avec la ligne des centres un angle un peu inférieur à 90 degrés. Mais il a dû en user avec beaucoup de réserve pour ne pas occasionner une difficulté au desserrage.

Il paraît au contraire que le desserrage se fait très nettement sous l'influence d'un courant instantané dirigé en sens contraire du premier. L'action du ressort, qu'il a fallu vaincre pour amener les poulies au contact, favorise en effet le desserrage.

Mentionnons seulement une disposition importante en pratique, mais qui n'a rien d'essentiel au système de M. Achard. C'est l'emploi de deux sabots sur chaque roue.

Les sabots employés à l'Est sont en fonte, et il paraît que, grâce à l'emploi de ces sabots, et en réglant convenablement l'intensité du courant et la disposition de la chaîne de serrage, on arrive à éviter le calage des roues.

Automaticité. — M. Achard s'est préoccupé de réaliser l'automaticité, et il y arrive par une disposition que, sur ses indications, j'avais fait pressentir dans mon rapport du 10 mars 1879. C'est par l'emploi d'un circuit accessoire dans lequel passe un courant au moyen duquel on actionne deux relais placés dans les fourgons de tête et de queue, relais qui agissent eux-mêmes sur l'appareil de serrage des freins.

Si ce courant circule constamment, et que les relais fonctionnent par interruption du courant, on comprend que toute rupture d'attelage, entraînant l'interruption du courant, détermine le serrage des freins.

Mais M. Achard s'est préoccupé d'éviter même la faible dépense d'électricité que produirait ce courant peu intense dans sa circulation continuelle. Il indique pour cela un procédé très ingénieux.

Il place dans le circuit accessoire deux piles égales, situées aux deux extrémités du train et accouplées, non pas par leurs pôles de noms contraires, mais par leurs pôles semblables. Les actions électro-motrices égales se détruisant, il n'y a pas de courant, pas de consommation de réactif. Mais si, en un point quelconque du train, on établit le contact entre les deux fils, le circuit se partage en deux circuits distincts dans chacun desquels circulera le courant de la pile correspondante.

M. Achard dispose les choses de manière que toute rupture d'attelage amène en effet le contact entre les deux fils et fasse agir par conséquent les relais de tête et de queue dans les deux parties du train.

. . . .

L'automaticité ainsi obtenue serait à peu près complète. Toutefois il lui manquerait quelque chose à un point de vue important, celui du contrôle permanent de l'état des freins. Il y a deux circuits distincts, et malgré leur solidarité étroite, une interruption pourrait à la rigueur se produire

dans celui des freins sans déterminer l'action des relais.

. . . .

Un avantage important de l'emploi des relais serait d'établir une uniformité beaucoup plus grande dans les intensités des courants des divers véhicules, point important si l'on veut arriver à éviter le calage.

En résumé, la nouvelle communication de M. Achard signale une simplification en même temps qu'une amélioration considérable dans son ingénieux appareil, qui semble aujourd'hui laisser bien peu à désirer.

Toutefois, c'est à l'expérience à prononcer sur le résultat de ces modifications, et il est grandement à désirer que la compagnie de l'Est en poursuive actuellement l'essai avec l'intelligence et le soin qu'elle apporte dans toutes les questions relatives au matériel roulant.

Paris, le 18 novembre 1879.

L'ingénieur des mines,
Signé E. VICAIRE.

NOTE B.

RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES RELATIFS AU FREIN A VIDE.

Le 5 mai 1879, un voyage d'expérience a été fait de Paris à Creil et retour, dans des conditions qui ont permis d'étudier le frein d'une manière plus complète que ne l'avaient permis les moyens dont nous disposions précédemment.

Le fourgon à expériences de M. Westinghouse, amené d'Angleterre, avait été placé en tête du train ; il a fourni des diagrammes qui donnent à chaque instant, pendant la

durée de l'arrêt, le chemin parcouru et la vitesse, ou plutôt le carré de la vitesse qui est pris pour ordonnée.

Si la force retardatrice était constante, on aurait entre la vitesse et le chemin parcouru, la relation $v^2 = 2\gamma e$; c'est-à-dire que les diagrammes seraient des lignes droites. En réalité, la force retardatrice va en augmentant, et les lignes affectent une courbure dont la concavité est tournée vers l'axe des espaces. Une ligne droite joignant les extrémités de la ligne, donne la force retardatrice moyenne; pour avoir celle qui est due aux freins, il faut tenir compte de l'inclinaison de la voie. Cette correction est toujours peu importante par rapport à l'action totale.

Les résultats de ces expériences sont résumés dans les deux tableaux ci-après.

FREIN A VIDE. — PARIS A CREIL. — ESSAI DU 5 MAI 1879.

Composition du train : 20 voitures à 4 roues, 4 fourgons à 4 roues, remorqués par la machine *Outrance* à boggie, n° 2.861, avec 8 roues munies de freins, tender compris. — Le train comptait 6 roues non munies de freins. — Poids soumis à l'action des freins, 236t,736. — Poids non soumis à l'action des freins, 18t,900. — Poids total du train, 255t,636.

Rails secs. — Temps très beau. — Fraction enrayée, 0,93.

STATIONS d'arrêt.	RAMPE ou pente.	VITESSE initiale V.	LONGUEUR de l'arrêt L.	LONGUEUR de l'arrêt calculée pour une vitesse initiale de 80 kilom. à l'heure $L' = L \frac{80^2}{V^2}$.	DURÉE de l'arrêt T.	DURÉE calculée pour une vitesse de 80 kilom. à l'heure $T' = T \frac{80}{V}$.	VIDE final mesuré dans le fourgon.	FORCE retardatrice moyenne du frein en tant p. 100 du poids total du train.	OBSERVATIONS.
	mm.	kilom.	mètres.		secondes.		millim.	p. 100.	
Saint-Denis.	Palier	59,0	218	409	21 1/4	28,9	440,0	6,5	Arrêt ordinaire fait par le mécanicien.
Pierrefitte	Rampe de 2,6	49,0	145	386	17 1/2	28,5	425,0	6,7	Arrêt électrique de l'intérieur du fourgon de tête.
Gonesse.	Palier	45,0	128	404	16	28,4	425,0	6,5	Arrêt électrique de l'intérieur d'une voiture de 1re classe (1).
Goussainville.	Palier	50,0	162	414	18	29,2	435,0	5,5	Arrêt électrique de l'intérieur du fourgon de queue.
Louvres.	Rampe de 1,0	45,0	135	426	17	30,2	425,0	6,2	Arrêt ordinaire fait par le mécanicien.
Luzarches	Pente de 1,0	57,0	205	404	19,5	27,4	425,0	6,5	Idem idem.
Orry-la-Ville.	Id.	57,5	205	394	19,5	27,1	425,0	6,5	Arrêt en danger par le mécanicien.
Chantilly.	Id.	67,5	262	367	22	26,1	462,5	7,0	Arrêt ordinaire fait par le mécanicien.

(1) Jusqu'à présent, en service courant, la compagnie du Nord n'a pas donné aux voyageurs la faculté d'appliquer le frein électriquement. Le conducteur de tête seul peut le faire.

FREIN A VIDE. — CREIL A PARIS. — ESSAI DU 5 MAI 1879.

Composition du train : 9 voitures à 4 roues, 3 fourgons à 4 roues, remorqués par la machine *Outrance* à boggie, n° 2.861, avec 8 roues munies de freins, tender compris. — Le train comptait 6 roues non munies de freins. Poids soumis à l'action des freins, 140t.996. — Poids non soumis à l'action des freins, 18t,900. — Poids total du train, 159t,896.

Rails secs. — Temps très beau. — Fraction enrayée, 0,88.

STATIONS d'arrêt.	RAMPE ou pente.	VITESSE initiale V.	LONGUEUR de l'arrêt L.	LONGUEUR de l'arrêt calculée pour une vitesse initiale de 80 kilom. à l'heure $L' = L \frac{80^2}{V^2}$.	DURÉE de l'arrêt T.	DURÉE calculée pour une vitesse de 80 kilom. à l'heure $T' = T \frac{80}{V}$.	VIDE final mesuré dans le fourgon.	FORCE retardatrice moyenne du frein en tant p. 100 du poids total du train.	OBSERVATIONS.
	mm.	kilom.	mètres.		secondes.		millim.	p. 100.	
Chantilly.	Rampe de 1,0	44,0	153	506	»	?	»	5,2	Arrêt ordinaire d'un train express fait par le mécanicien.
Orry-la-Ville (disque).	Id. de 5,0	58,0	138	262	16,0	23,8	446,5	8,0	Arrêt électrique par le contact du disque à l'arrêt.
Orry-la-Ville.	Id. de 5,0	41,0	122	464	31,0	60,5	262,5	5,2	Arrêt ordinaire fait par le mécanicien.
Luzarches	Id. de 1,0	63,5	184	292	19,0	24,1	375,0	8,6	Arrêt électrique de l'intérieur d'une voiture de 1re classe.
Louvres.	Pente de 1,0	75,0	253	287	20,0	21,3	512,5	8,7	Arrêt en danger fait par le mécanicien.
Goussainville.	Palier	76,0	380	421	33,5	35,2	362,5	6,2	Accouplements en caoutchouc ouverts en queue. Ejecteur ouvert jusqu'à la fin de l'arrêt.
Gonesse (disque). . . .	Pente de 5,0	92,0	410	310	28,0	24,5	525,0	8,2	Arrêt électrique par le contact du disque à l'arrêt. Régulateur ouvert.
Gonesse.	Id. de 5,0	56,0	[illegible]	310	16,5	23,6	250 à 380	8,0	Arrêt ordinaire d'un train express fait par le mécanicien.
Pierrefitte.	Id. de 2,6	100,0	[illegible]	[illegible]	27,0	21,6	525,0	[illegible]	Idem
Saint-Denis.	Palier	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Idem

La comparaison de ces tableaux avec ceux qui ont été insérés dans le texte confirme d'une manière générale l'exactitude de ceux-ci. Elle montre aussi que les divergences que l'on constate dans ceux-ci, lorsqu'on compare les divers arrêts, par exemple, lorsqu'on ramène par le calcul la longueur ou la durée du parcours à une même vitesse initiale, ou lorsqu'on calcule la force retardatrice moyenne, ne proviennent pas de l'imperfection des moyens de mesures employés dans les expériences, mais correspondent à des faits réels, puisqu'on la retrouve dans ces expériences plus précises. On remarquera que les différences d'une expérience à l'autre sont beaucoup plus considérables dans le train de retour du 5 mai 1879, formé de 12 véhicules seulement, que dans le train d'aller, formé de 24 véhicules.

Mais ce qui est à intéressant à signaler, et qui résulte très clairement de la comparaison des deux tableaux ci-dessus, c'est l'influence de la longueur du train sur le fonctionnement du frein.

Avec des freins continus, s'ils fonctionnaient instantanément, la force rétardrice serait d'autant plus grande et l'arrêt d'autant plus prompt qu'il y aurait plus de véhicules. En effet chaque véhicule ajouté représente un poids enrayé, et diminue l'importance relative de la partie de la machine dont le poids n'est pas soumis aux freins. On voit, en effet, que le 5 mai, la fraction enrayée qui était 0,93 à l'aller, s'est réduite à 0,88 au retour.

Cependant la force retardatrice moyenne est notablement plus grande au retour qu'à l'aller. La moyenne des arrêts donne 6,4 à l'aller et 7,6 au retour. Si l'on divise chacun de ces nombres par la valeur correspondante de la fraction enrayée pour avoir la force retardatrice rapportée au poids effectivement enrayé, on trouve que cette force a été de 6,9 à l'aller (24 véhicules) et de 8,6 au retour (12 véhicules).

Ce dernier nombre surpasse le premier exactement d'un quart de sa valeur. Tel est l'effet du retard avec lequel l'action des freins se produit dans la seconde moitié d'un train de 24 voitures. Cet effet est même plus grand en réalité, car il y a deux des expériences de retour dans lesquelles la force retardatrice a été diminuée par des circonstances particulières,

Ce retard se manifeste aussi très clairement à l'inspection des diagrammes. Nous en avons reproduit quelques-uns pour le montrer (Pl. IX, *fig.* 7 à 13). On voit que, pour le train long, les courbes sont plus bombées, et plus tendues pour le train court. Elles se rapprochent davantage, dans ce dernier cas, de la ligne droite qui conviendrait à un frein théorique.

Pour le constater numériquement, j'ai déterminé, en menant aussi exactement que possible des tangentes aux courbes, la valeur de la force retardatrice au milieu de chaque arrêt. J'ai formé ainsi les deux tableaux suivants :

DE PARIS A CREIL. — 24 VÉHICULES.

	STATIONS.	FORCE RETARDATRICE	
		moyenne.	au milieu du parcours d'arrêt.
1	Saint-Denis.	6,5	4
2	Pierrefitte.	6,7	4
3	Gonesse.	6,5	4
4	Goussainville.	6,5	4
5	Louvres.	5,2	3
6	Luzarches.	6,5	4
7	Orry-la-Ville	6,5	4
8	Chantilly.	7,0	5

DE CREIL A PARIS. — 12 VÉHICULES.

	STATIONS.	FORCE RETARDATRICE moyenne.	FORCE RETARDATRICE au milieu du parcours d'arrêt.	
1	Chantilly.	5,2	7	
2	Orry-la-Ville (disque) .	8,0	9	
2 *bis*.	— (gare). . .	5,2	8	
3	Luzarches.	8,6	9	
4	Louvres.	8,7	12,5	accouplements
5	Goussainville.	6,2	6,5	ouverts
6	Genesse (disque). . . .	8,2	10	en queue du train
6 *bis*.	— (gare).	8,0	9	fonctionnement
7	Pierrefitte.	> 9,4	11	imparfait
8	Saint-Denis.	9,0	11	de l'indicateur.

On voit que, dans le premier cas, la force retardatrice n'a pas encore atteint sa valeur moyenne au milieu du parcours, tandis que, dans le second, elle l'a toujours dépassée.

Dans un mouvement uniformément retardé, le milieu du parcours correspond au quart de la durée de l'arrêt.

Ces diagrammes, sauf un ou deux dans lequel ce fait n'est pas bien accusé, confirment ce que nous avons dit de l'augmentation brusque que la force retardatrice éprouve aux derniers instants de l'arrêt : les courbes ne viennent pas couper sous un angle aigu l'axe des distances ; elles s'infléchissent et se terminent normalement à cet axe.

Il est intéressant de comparer les forces retardatrices moyennes tirées de ces expériences avec celles qui résultent de nos observations chronographiques sur le frein Achard.

En calculant celles-ci, au moyen des données rapportées dans le texte, par la formule $\frac{5v^2}{e}$ adoptée par M. Westinghouse, et qui a servi de base à la détermination graphique de celles qui viennent d'être rapportées (v étant la vitesse en mètres), on obtient les résultats suivants :

EXPÉRIENCES DU 21 MAI 1878.

STATIONS.	VITESSE en mètres.	FORCE RETARDATRICE moyenne.	ramenée au poids enrayé.
Train 119, de Paris à Creil.			
Saint-Denis	13,1	7,8	11,7
Pierrefitte.	10,8	6,8	10,2
Gonesse	10,3	6,7	10,0
Goussainville	13,9	7,8	11,7
Louvres.	11,7	9,4	14,1
Luzarches	17,5	7,4	11,1
Orry-la-Ville.	15,5	6,2	9,3
Chantilly.	14,7	7,5	10,4
Train 118, de Creil à Paris.			
Chantilly.	12,8	7,7	11,5
Orry-la-Ville.	13,1	7,7	11,5
Luzarches	12,8	8,4	12,6
Louvres	18,1	7,9	9,7
Goussainville	15,3	7,6	11,4
Gonesse	16,6	6,1	9,1
Pierrefitte	»	»	»
Saint-Denis.	14,5	8,0	12,0

La moyenne des forces retardatrices est de 7,45 à l'aller et de 7,63 au retour. Mais il est nécessaire de tenir compte du poids enrayé qui a été 0,66 ou $\frac{2}{3}$ du poids total à toutes les stations, sauf celle de Chantilly à l'aller (tr. 119) où il a été de 0,72.

Je donne dans une dernière colonne les forces retardatrices ramenées au poids enrayé; les moyennes sont :

Train 119.	11,1
Train 118.	11,4

La différence entre ces deux moyennes est peut-être simplement accidentelle; cependant elle est d'accord avec l'état du rail, qui était meilleur au retour qu'à l'aller.

On voit qu'elles surpassent d'un tiers la force retardatrice donnée par le frein Smith pour un train de 12 voitures et des $\frac{2}{3}$ celle qui a été obtenue au train de 24 voitures, l'une et l'autre dans de très bonnes conditions quant à l'état du rail.

Depuis l'époque de la rédaction de mon rapport, la compagnie du Nord a poursuivi, sous la direction de M. Bandérali, ses études relatives au fonctionnement du frein Smith, et notamment aux conditions de la propagation du vide dans les longs trains.

Les expériences ont porté sur les trains à conduite simple et à double conduite; les observations ont eu pour objet l'étude des effets produits par les étranglements ou diminutions de section, par les coudes ou déviations, par les diverses positions des sacs, par les différences de pression de la vapeur motrice, par la forme des éjecteurs, etc.

Les conclusions de ces expériences ne sont pas encore définitivement arrêtées, mais, d'après une note que M. Bandérali veut bien me communiquer, voici les solutions que la compagnie semble devoir adopter :

Conduite double sur toute la longueur du train, aboutissant à un éjecteur double, à cloison intérieure séparant complétement les deux conduites et produisant son maximum d'effet à une pression de 5 kil. $\frac{1}{2}$ à 6 kil. Le tuyau de communication entre les sacs et la conduite générale est maintenu à environ 35 millimètres de diamètre intérieur. Les sacs sont placés horizontalement ou verticalement suivant les nécessités du montage.

Les tuyaux d'accouplement entre les véhicules sont un peu relevés, de manière à se trouver au-dessus des attelages, pour éviter des chocs sur les parties métalliques qui, sans cette précaution, se déforment et rendent l'accouplement très difficile.

Au 1er novembre dernier, le frein était monté sur 744 véhicules et 197 machines. Le montage continue, et les machines en construction sont également munies du frein.

Paris, le 15 novembre 1880.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche VII.

FREIN A EMBRAYAGE ÉLECTRIQUE DE M. ACHARD.

Fig. 1, 2 et 3. — Frein à embrayage électrique de M. Achard, disposition appliquée au chemin de fer du Nord.

Fig. 1. — Vue de profil du châssis d'un véhicule muni du frein.

Fig. 2. — Plan dans lequel la caisse et une partie du châssis sont supposés enlevés.

Fig. 3. — Détails de l'électro-aimant et de l'arbre qui le porte.

A, arbre ou faux essieu suspendu au châssis le long d'un des essieux du véhicule (la coupe en est donnée en un point de sa longueur dans la fig. 3).

B, B, poulies de friction calées sur cet arbre et s'appuyant contre l'essieu parallèle moteur.

a, ressort qui presse l'arbre A et par conséquent les poulies de friction contre l'essieu moteur.

C, électro-aimant calé sur ce même arbre ou faux essieu et tournant avec lui.

DD, D'D' manchons fous sur l'arbre avec plateaux en fer venant se présenter devant les bases de l'électro-aimant auxquelles ces plateaux adhèrent lorsque le courant passe.

E, E, chaînes attachées par une extrémité sur les manchons DD et actionnant par l'autre extrémité les leviers des freins.

FF, câbles électriques isolés formant le circuit général tout le long du train.

G, câble de dérivation passant par les coussinets isolés HH pour amener à l'électro-aimant un courant partiel.

I, coins en bois isolant le coussinet de l'arbre.

J, J', grands leviers des freins actionnés par les chaînes EE.

Fig. 4 et 5. — Tableaux graphiques donnant les résultats des expériences chronographiques du 21 mai 1878. Les abscisses représentant les temps écoulés à partir de la mise en action des freins, et les ordonnées, les vitesses correspondantes.

Fig. 6, 7, 8 et 9. — Frein électrique Achard. Nouvelle disposition en expérience au chemin de fer de l'Est.

Fig. 6. — Vue de profil du châssis d'un véhicule muni du frein.

Fig. 7. — Plan du châssis, vu par dessus.

Fig. 8. — Utilisation des entretoises pour la suspension des sabots sur les boîtes à graisse.

Fig. 9. — Commutateur ou interrupteur pour la commande des freins.

A, arbre suspendu parallèlement à un essieu du véhicule.

C, électro-aimant calé sur cet arbre.

B, bases renflées de cet électro-aimant, formant poulies de friction lorsque celui-ci est attiré vers l'essieu sous l'influence du courant.

EE, chaînes de commande, attachées d'un côté sur l'arbre A.

FF, circuit général du train.

GG, dérivation particulière au véhicule représenté.

J, J', grands leviers des freins.

L, L', tringles au moyen desquelles le mécanicien manœuvre le commutateur et serre (L) ou desserre (L') le frein.

P, batterie accumulatrice composée de 4 boîtes contenant chacune 3 éléments de Daniell et un accumulateur Planté.

Planche VIII.

FREIN A VIDE, SYSTÈME SMITH.

Fig. 1. — Coupe d'un sac en caoutchouc monté verticalement.

Fig. 2. — Coupe d'une boîte en fonte avec diaphragme en cuir ou en caoutchouc, système Hardy.

Fig. 3 et 4. — Plan et vue latérale de deux véhicules munis, l'un d'une boîte ou sac Hardy, l'autre d'un sac en caoutchouc à axe horizontal.

Fig. 5. — Vue d'arrière d'un véhicule, montrant la manière dont les deux branches de la conduite d'air se raccordent à l'arrière du train.

Fig. 6 à 11. — Détails de l'éjecteur destiné à produire le vide (type à jet de vapeur annulaire et à double courant d'air.

Fig. 12 et 13. — Installation de l'éjecteur, de la valve à vapeur et du déclenchement.

AA, double conduite d'air circulant tout le long du train.

B, branchement particulier du sac.

D, fond ou diaphragme mobile portant la tige C qui actionne les leviers des freins.

TT, tuyaux de caoutchouc servant à relier les diverses parties de la conduite au moyen des raccords R.

N, tuyau d'admission de la vapeur dans l'éjecteur.

S, soupape placée à la base de l'éjecteur pour maintenir le vide dans la conduite quand on cesse de donner la vapeur.

M, valve d'admission de la vapeur.

l, levier de commande de cette valve.

P, contrepoids qui détermine l'ouverture de cette valve quand le levier est abandonné à lui-même.

p, poignée qui sert au mécanicien à manœuvrer ce levier et à actionner le frein.

f, fourchette dans laquelle le levier *l* est habituellement retenu dans sa position supérieure.

Q, boîte de déclenchement électrique renfermant l'électro-aimant Hughes.

t, tringle par l'intermédiaire de laquelle l'armature de l'électro-aimant détermine un petit mouvement latéral de la fourchette *f* qui laisse le levier *l* libre d'obéir à l'action du poids P. La vapeur est ainsi admise dans l'éjecteur sous l'influence du courant électrique.

Planche IX.

DIAGRAMMES FIGURANT LES RÉSULTATS DE DIVERSES EXPÉRIENCES FAITES SUR LE FREIN SMITH.

Fig. 1 à 4. — Marche du vide dans les différentes parties d'un train suivant le nombre de véhicules qui le composent.

Fig. 5 et 5 *bis*. — Marche du vide dans le fourgon de tête, dans le 7e véhicule et dans le fourgon d'arrière du train 119 (Paris à Creil) du 11 janvier 1878, lors de ses arrêts successifs.

Fig. 6 et 6 *bis*. — Mêmes expériences faites le même jour sur le train 118 de Paris à Creil.

Fig. 7 à 13. — Diagrammes relevés au moyen de l'indicateur de vitesse de M. Westinghouse lors des arrêts du train d'expériences du 5 mai 1879.

Fig. 7, 8 et 9. — Diagrammes obtenus à l'aller avec 24 véhicules.

Fig. 10, 11, 12 et 13. — Diagrammes obtenus au retour avec 12 véhicules seulement, les accouplements étant ouverts à la queue du train dans l'arrêt à Goussainville (diagr. n° 12) et le régulateur n'ayant pas été fermé dans l'arrêt à Gonesse (diagr. n° 13).

NOTICE

SUR

LES SIGNAUX ÉLECTRIQUES

DÉSIGNÉS SOUS LE NOM DE

« CLOCHES AUTRICHIENNES »

Par M. DE CASTELNAU, ingénieur des mines.

BUT ET UTILITÉ DE CES SIGNAUX.

Les signaux électriques désignés sous le nom de « *cloches autrichiennes* » ou « *cloches Leopolder* » ont pour but spécial d'assurer la sécurité de la circulation des trains sur les lignes à voie unique.

Établis d'abord sur les lignes de l'Autriche-Hongrie et sur celles de la Haute-Italie, ces signaux ont été introduits en France en 1877 par la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, qui les a perfectionnés et déjà installés sur plus de 800 kilomètres de son réseau, Dans la présente notice, je me propose de décrire les appareils mis en usage sur les lignes à voie unique de cette Compagnie et de rendre compte de la réglementation et du mode d'emploi de ces signaux.

Soient deux gares consécutives A et B munies chacune d'une cloche; entre ces deux gares se trouvent échelonnés, sur la voie, plusieurs postes intermédiaires *a*, *b*, *c*..... munis chacun d'une cloche semblable et distancés de telle façon que l'on puisse, d'un point quelconque de la ligne, entendre le son de la cloche la plus voisine. Les gares A et B sont reliées par un fil électrique spécial qui passe par les postes intermédiaires *a*, *b*, *c*..... et dans lequel circule un

courant continu. L'interruption momentanée, aussi courte qu'on le voudra, du courant, met en mouvement sur chacun des points A, *a*, *b*, *c*..... B, un mécanisme qui fait mouvoir en même temps le marteau de chacune de ces cloches. Chaque interruption de cette nature donne lieu à un coup de cloche. On peut produire ces interruptions soit aux gares A, B, soit, par suite de la continuité du courant, dans chacun des postes intermédiaires. En répétant ces coups de cloche et distançant les séries de coups, on crée une sorte de langage de convention, et on peut transmettre un ordre ou un avertissement qui sera entendu et compris par les agents des deux gares et par ceux qui, chargés de la surveillance de la ligne, sont échelonnés sur la voie. Il sera donc possible d'arrêter un train dans son trajet de A à B, si l'on s'aperçoit de A, B, ou d'un point quelconque de cette section de ligne, qu'un danger compromet la sécurité de la marche de ce train; si, par exemple, dans le même temps, un train de sens contraire a été lancé sur la même section; si un obstacle imprévu obstrue la voie, etc....... Ces signaux permettront encore de prévenir toute la section d'une marche en dérive, et, par suite, de préserver les trains marchant en sens contraire du mouvement des wagons échappés; de demander *rapidement*, d'un point quelconque de la section, la machine de secours et de gagner, dans la durée de l'interruption de la circulation, tout le temps que mettrait un piéton à parvenir à la gare voisine; de prévenir tout le personnel échelonné sur la section du passage prochain d'un train qui part de la gare précédente, et ceux de la gare suivante, de sa prochaine arrivée.

J'ai dit en commençant que ces signaux sont spécialement destinés aux lignes à voie unique; cependant, en Autriche-Hongrie et en Allemagne, les signaux électriques à cloches sont également employés sur les lignes à double voie. Mais ici leur utilité est très contestable. En effet, sur les lignes à double voie, le danger le plus grave et le plus

fréquent provient de la succession parfois très rapide de deux trains de même sens et de vitesse inégale. Or, le « block-system » quel que soit le mode de réalisation du principe, (appareil Tyer, Regnault, électro-sémaphore Lartigue.....), en maintenant d'une manière absolue un intervalle déterminé entre deux trains qui se suivent, constitue un moyen incomparablement plus sûr et plus efficace d'éviter les collisions.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Les signaux à cloche installés sur le réseau P.-L.-M. comprennent :

I. L'appareil moteur avec sa cloche;

II. Le commutateur qui permet d'interrompre et de rétablir le courant;

III. La pileg énératrice de ce courant.

L'installation de ces signaux sur une ligne exige : l'établissement, dans chaque poste intermédiaire, d'un appareil moteur ; l'établissement dans chaque gare de deux appareils identiques au précédent, l'un en amont, l'autre en aval; de deux piles indépendantes, de deux commutateurs; enfin la pose d'un fil télégraphique spécial, qui relie l'appareil d'amont, successivement avec ceux des postes intermédiaires et celui d'aval de la gare suivante.

I. — Appareil moteur (Voir les *fig.* 1 et 2 de la Pl. XI).

Cet appareil comprend : un fort timbre T (Pl. XI, *fig.* 1) sur lequel peut frapper un marteau M mu par un système de leviers dont l'origine est le levier L; un treuil horizontal H sur lequel s'enroule une corde portant un contrepoids P qui sollicite le treuil à tourner : celui-ci porte, en outre, une roue dentée R munie, sur sa face latérale, d'une série de manetons N également espacés; quand le treuil obéit au poids qui le sollicite, chaque maneton, en passant, appuie

sur le levier L et soulève le marteau ; après le passage, le marteau retombe et un coup de cloche se fait entendre.

Ce treuil est habituellement au repos et sa mise en mouvement s'effectue par le système suivant d'enclenchement et de déclenchement. La roue dentée R engrène avec un pignon p_1 monté sur l'axe A_1. Cet axe porte une roue dentée R_1, qui engrène, à son tour, avec un pignon P_2, monté sur l'axe A_2. L'axe A_2 porte un doigt d'arrêt D qui repose sur la pièce d'enclenchement E, laquelle peut osciller autour de l'axe O_1. Cette pièce est solidaire avec le levier du premier genre B, qui peut osciller autour de l'axe O_2. Cette solidarité est établie au moyen d'un maneton *m* horizontal, qui fait corps avec ce levier et s'engage entre un ressort *rr'* (fixé suivant *r* sur la pièce E) et cette pièce elle-même. Le levier B, qui forme l'une des pièces principales de l'appareil, est recourbé horizontalement à son extrémité et repose, par cette extrémité, pendant le passage du courant, sur l'une des palettes *b* de la fourchette A. Cette fourchette peut tourner d'un certain angle autour de l'axe O, lequel porte une pièce de fer doux F, servant d'armature à un électro-aimant I.

Dans la période de repos, c'est-à-dire pendant le passage du courant dans l'électro-aimant, le fer doux est en contact avec les bobines, et la fourchette occupe la position verticale représentée par les *fig.* 1 et 2 de la Pl. X.

Avant de décrire la position respective des divers organes de l'appareil pendant l'interruption du courant et au moment de son rétablissement, il est nécessaire de parler de deux pièces essentielles portées sur l'axe A_1 et qui sont : un disque échancré *d* et une came ou éxcentrique G.

Ce disque est dans le même plan vertical, perpendiculaire à l'axe A_1, que la pièce d'enclenchement E. L'excentrique est dans le même plan vertical, encore perpendiculaire au même axe, qu'un petit maneton m_1 fixé à l'extrémité du levier B. Dans la période du repos, le talon *t* de la pièce E est dans l'échancrure du disque : dans cette position, le

ressort *rr'* n'est point tendu et le levier B repose par son propre poids sur la palette *b*.

Supposons maintenant que le courant soit interrompu : le fer doux n'est plus attiré, le ressort antagoniste *u* agit, et la fourchette, tournant autour de l'axe O, prend la position inclinée représentée par la *fig.* 2 de la Pl. XII. Par suite de ce mouvement, l'extrémité *e* du levier B échappe à la palette *b*, et descend, toujours par son poids, sur la palette *b'*. L'autre extrémité m_1 se rapproche un peu de l'excentrique, et la pièce E n'éprouve qu'un mouvement très léger et trop faible pour déterminer le déclenchement. Mais, au moment où le courant est rétabli, la fourchette redevenant verticale, le levier B glisse sur la palette *b'* et tombe dans l'angle formé par les deux branches de la fourchette. Il entraîne dans ce mouvement la pièce E qui, d'une part, se dérobe sous le doigt d'arrêt D et dont le talon, d'autre part, échappe de l'échancrure du disque. Dès lors, le contrepoids P peut agir ; il fait tourner, par l'intermédiaire des engrenages, le treuil et les axes A_1 et A_2, et chaque fois que l'axe A_1 a fait un tour complet, un maneton a appuyé sur le levier L et un coup de cloche s'est fait entendre.

Considérons plus particulièrement cet axe, et examinons quels sont les effets du mouvement de l'excentrique et du disque échancré qu'il porte. Dans sa chute entre les branches de la fourchette, le levier B appuie son extrémité m_1 contre l'extrémité du rayon minimum de l'excentrique ; mais, par suite de la rotation de l'axe, cette came soulève peu à peu le levier, dont l'extrémité *e* remonte, passe entre les branches de la fourchette et s'élève au-dessus de cette pièce.

Supposons qu'à ce moment nous arrêtions le mouvement : j'ai représenté sur la *fig.* 3 de la Pl. XII quelle est alors la position respective des diverses pièces de ce mécanisme. A cet instant, l'extrémité m_1 est en contact avec le grand rayon de l'excentrique ; le talon *t* de la pièce E

frotte sur la surface du disque échancré; le ressort rr' est tendu et cherche à ramener le levier B sur la palette b et à faire retomber le talon de E dans l'échancrure dès que celle-ci se présentera.

Si maintenant la rotation continue, le rayon de l'excentrique diminuera brusquement du maximum au minimum, l'extrémité e du levier B retombera et viendra reposer sur la palette b, et, un instant après, l'échancrure du disque d recevra le talon de la pièce E. En même temps, le doigt d'arrêt D, qui tourne sur l'axe A_2, rencontrera l'extrémité supérieure de la pièce E qui s'est relevée, et le mouvement sera enrayé.

Détails de construction. — L'amplitude d'oscillation de la fourchette est réglée au moyen de deux petites vis v et v'. Pour permettre au levier B de passer entre les palettes de la fourchette dans son mouvement de relèvement, ces palettes peuvent osciller autour des axes x et x', et sont maintenues dans leur position normale, d'une part, par les taquets s et s', et, d'autre part, par les lames de ressort t et t'.

Au moment de la cessation du mouvement, quand le doigt D rencontre l'extrémité de la pièce E relevée, il se produit entre ces deux pièces un choc qui pourrait en compromettre la solidité. Pour l'amortir, on a maintenu le doigt d'arrêt D sur l'axe auquel il est attaché, au moyen d'un ressort qui peut céder légèrement sous le coup et diminuer ainsi son intensité. Le même axe porte un volant V qui régularise et modère la vitesse.

Le contrepoids pèse 25 kilogrammes environ : il est suspendu par l'intermédiaire de moufles et descend de 1 centimètre par coup de cloche ; comme la hauteur totale de chute est de $1^m 40$, l'appareil peut faire entendre 140 coups avant qu'il soit nécessaire de le remonter.

Ce remontage s'exécute comme celui des anciennes pendules à contrepoids, l'axe du treuil portant une roue à rochet R' et un doigt d' maintenu par un ressort l'.

II. — Des commutateurs.

1° *Commutateur de poste intermédiaire.* — Le chemin suivi par le courant dans l'appareil moteur est indiqué par des flèches sur les *fig.* 1 et 2 de la Pl. X : quant au sens dans lequel il passe, il est indifférent. Supposons qu'il entre par le fil f : il parcourt les bobines et de là se rend au commutateur à bouton $n\,n'$, qui se compose d'une lame en cuivre jaune, fixée en n et terminée par un bouton en bois K. Cette lame appuie sur un bouton de contact en cuivre jaune b_1 dans lequel le courant arrive et qui est relié au fil de la ligne.

Ce commutateur n'a pas de fonction dans les gares : au contraire, dans les postes intermédiaires, il permet d'interrompre le courant. Pour cela, l'agent qui veut faire un signal n'a qu'à soulever le couvercle en bois i qui recouvre le bouton K et à appuyer sur ce bouton. La lame cesse alors d'être en contact avec le bouton b_1 et le courant ne passe plus.

2° *Commutateur de gare.* — Il y a lieu de distinguer : 1° celui des gares tête de ligne de signaux à cloche, 2° celui des gares intermédiaires.

Commutateur des gares tête de ligne (*fig.* 2 et 3, Pl. XI). — $a\,b_1\,\beta$ est une pièce identique au commutateur plus haut décrit. Le bouton b_1 est en relation, par l'intermédiaire du fil f', avec un galvanomètre qui comprend simplement un cadre en bois autour duquel s'enroule un grand nombre de fois (et dans le même sens sur les deux parties C et C') un fil très fin et isolé. Au-dessus du cadre en bois, peut tourner, autour d'un axe vertical, une aiguille aimantée, oscillant sur un cadran gradué; d et d_1 sont deux bornes d'attache du fil électrique; enfin, pour achever la description, O est un petit couvercle qu'il faut ouvrir pour voir et presser le bouton β.

Cet appareil est fixé sur une planchette et placé dans le

cabinet du chef de gare. Le courant sortant de la pile arrive à la borne *d*, passe dans le commutateur, arrive par le bouton b_1 dans le galvanomètre, et ressort par le fil f_1, et la borne d_1 pour se rendre dans l'appareil moteur et, de là, sur la ligne.

Commutateur de gare intermédiaire (*fig.* 4 et 5, Pl. XI). — Cet appareil se compose 1° de deux commutateurs de gare tête de ligne placés côte à côte sur la même planchette et ne différant du précédent que par l'existence de quatre bornes au lieu de deux; 2° d'un commutateur spécial, imaginé par M. Michel, inspecteur des télégraphes à la compagnie P-L-M., et destiné à mettre, pendant la nuit, sur communication directe les deux appareils à cloche établis dans une gare intermédiaire à service interrompu.

Le commutateur spécial se compose de deux arcs de cercle $CC', C_1C'_1$, disposés symétriquement, et qu'on peut faire tourner d'un certain angle, au moyen d'un bouton, autour d'un axe vertical en corne qui les isole l'un de l'autre. Ces arcles de cercle frottent à frottement dur contre trois boutons 1, 2, 3; 1', 2', 3', pressés en haut par un petit ressort en acier, afin que leur contact avec l'arc de cercle correspondant soit aussi parfait que possible. Les *fig.* 4 et 5 font connaître suffisamment comment les communications sont établies entre les divers organes de cet appareil.

Au lieu de suivre sur ces figures le chemin parcouru par le courant, il me paraît préférable de se reporter au graphique représenté dans la *fig.* 1 de la Pl. XII, qui n'est que l'esquisse de ces instruments.

Soient trois gares consécutives A, B, C.

Supposons A et C tête de ligne, B gare intermédiaire.

Soient $\begin{cases} \beta, \gamma, \text{ les bornes du commmutateur de A,} \\ \beta', \gamma', \ldots\ldots \text{ id. } \ldots\ldots \text{ C.} \end{cases}$

Appelons $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \delta_1$; $\delta_2, \beta_2, \gamma_2, \alpha_2$ les bornes du commutateur de B,

γ, γ' sont reliées à la pile correspondante,
β, β' . . . . . . id. . . . . . . ligne,
γ_1 est reliée à la pile de B côté A,
γ_2 . . . . . . id. . . . . . . C,
β_1 est reliée à la ligne côté A,
β_2 . . . . . . id. . . . . . . C,
α_1 est reliée à δ_1, qui est relié à la terre,
α_2 . . . . δ_2, ... id. . . . . .
Les boutons 1 et 1' sont reliés à la terre,
2 est reliée à la pile de B côté A,
2' . . . . . id. . . . . . C,
3 et 3' sont reliés entre eux.

Pendant le service de jour, le commutateur de M. Michel occupe la position indiquée sur la *fig.* 1. Examinons le parcours du courant. Admettons qu'en A, le pôle négatif de la pile soit en communication avec la terre et le positif avec la ligne. Le courant part de A, parcourt les divers appareils moteurs, arrive à la borne β_1, passe dans le galvanomètre correspondant, de là dans le commutateur à bouton, dans la borne γ^1 et aboutit au pôle négatif de la pile B côté A; il parcourt cette pile, en sort par le pôle positif, arrive au bouton 2, passe, par l'intermédiaire de l'arc de cercle, du bouton 2 sur le bouton 1 et va se perdre à la terre.

Plaçons-nous, au contraire, dans l'hypothèse du service de nuit. Dans ce cas, le commutateur de M. Michel a été tourné de gauche à droite, de telle façon qu'il a abandonné les boutons 1 et 1' et repose sur 2, 2', 3 et 3'.

Le courant, venant de A, arrive comme précédemment sur le bouton 2, de là passe sur 3, se rend à 3', de 3' à 2', de là au pôle négatif de la pile B, côté C, parcourt l'intérieur de cette pile, en sort par le pôle positif, arrive sur γ_2, passe dans le second galvanomètre, le commutateur à bouton β_2 et la ligne vers C; il arrive ainsi dans β', de là passe dans le galvanomètre de C, le commutateur à bouton γ', le pôle négatif de la pile C, la parcourt et sort par le pôle positif

qui est en communication avec la terre. Chacune des autres piles émet également un courant dont il serait sans intérêt de suivre le parcours.

Ces courants divers se combinent de manière à former sur l'ensemble des communications de A à C, un courant de même intensité que celui qui, dans le service de jour, circule de A à B, ou de B à C. En effet, on sait qu'en vertu de la loi d'ohm, l'intensité d'un courant émis par un élément de pile :

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

E = force électromotrice,
R = résistance intérieure d'un élément de pile,
r = id. extérieure.

Soit n le nombre des éléments de la pile de A,
n' . . . . id. . . . . B, côté A,
n'_1 . . . . id. . . . . côté C,
n_1 . . . . id. . . . . C.

L'intensité du courant de jour est :

$$i = \frac{(n + n')E}{(n + n')R + r}, \quad i_1 = \frac{(n_1 + n'_1)E}{(n_1 + n'_1)R + r'},$$

et on sait que le nombre des éléments de piles est tel que $i = i_1$.

L'intensité du courant de nuit sera :

$$I = \frac{(n + n' + n_1 + n'_1)E}{(n + n' + n_1 + n'_1)R + r + r'},$$

et je dis que $I = i$:
ce qui est exact, puisque $i = i_1$.

Détails de construction. — Les boutons 1, 2, 3, 1', 2', 3' doivent être placés de telle sorte que l'arc de cercle ne puisse quitter 1 sans avoir préalablement touché 3, sans cela il se produirait un coup de cloche.

Quelle est l'utilité des bornes α_1, δ_1; α_2, δ_2? Dans l'état normal de fonctionnement des appareils, les deux courants émis par la pile de A et celle de B côté A passent dans le galvanomètre correspondant de B : l'aiguille marque alors de 55 à 60°. Si un dérangement survient, il est nécessaire de savoir quelle est celle des deux piles qui a besoin de réparation ; il n'y a, pour cela, qu'à supprimer le passage du courant de l'une des deux piles dans le galvanomètre ; les indications de cet instrument permettront d'arriver immédiatement au résultat. Dans ce but, deux bornes consécutives peuvent être mises en communication au moyen d'une fiche que l'on place entre les deux.

Relions ainsi α_1 et β_1, le courant de A passe de β_1 sur α_1 qui est relié à la borne δ_1, laquelle est en communication avec la terre : le galvanomètre n'est parcouru que par le courant de la pile de B côté A. Plaçons la fiche entre γ_1 et δ_1, le courant émis par A traverse seul le galvanomètre. Enfin relions β_1 et γ_1, le galvanomètre ne reçoit plus aucun des deux courants.

III. — De la pile.

On a vu que, dans le système de signaux, dont il s'agit le courant électrique est continu et que, contrairement aux appareils télégraphiques, les cloches autrichiennes ne fonctionnent qu'à la suite d'une interruption momentanée du courant.

La pile génératrice de la force électro-motrice devait donc pouvoir produire un courant à la fois très intense (les résistances des fils et appareils à parcourir étant considérables), et très constant (la pile ne pouvant disposer de périodes plus ou moins longues de repos pour réparer ses pertes et emmagasiner de l'électricité).

Ce double but a été atteint dans la pile Meidinger, employée en Allemagne pour les transmissions télégraphi-

ques. Elle repose sur le même principe que la pile Callaud adoptée par l'administration française, et n'en diffère que par sa construction (Voir la *fig.* 6, Pl. XI).

A, vase cylindrique en verre présentant un étranglement au tiers de sa hauteur ;

B, ballon en verre, de forme spéciale, fermé par un bouchon en liège traversé par un petit tube en verre : ce ballon porte deux rainures extérieures *b*, *b'*, pour laisser passer les deux électrodes ;

C, verre conique de la grandeur d'un verre à boire ;

D, cylindre de zinc amalgamé, fendu suivant une de ses génératrices pour le passage de l'électrode positive ;

E, fil de cuivre rivé à la partie supérieure de D : c'est l'électrode négative ;

E', fil de cuivre replié plusieurs fois horizontalement en spirale à sa partie inférieure et dont la tige proprement dite est recouverte d'une gaine de gutta-percha : c'est l'électrode positive.

On charge l'élément de la manière suivante : on remplit le ballon B de cristaux de sulfate de cuivre (environ 1 kilog.), et on achève le remplissage avec de l'eau. Dans le vase intérieur, contenant le verre C, on verse de l'eau jusqu'aux deux tiers de sa hauteur et on y ajoute 30 grammes de sel d'Epsom. On place ensuite le cylindre de zinc qui repose sur la saillie intérieur de ce vase, et, au centre de cet ensemble, le ballon B renversé.

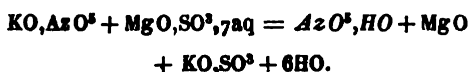
L'élément est ainsi chargé, mais l'action électrique n'acquiert son intensité normale qu'au bout d'une huitaine de jours. La dissolution saturée de sulfate de cuivre étant plus dense que le liquide qui remplit le vase extérieur, descend dans le verre C et le remplit en partie, en baignant l'extrémité de l'électrode positive. Quand le circuit est fermé, le courant décompose cette dissolution et le cuivre se dépose, soit uniquement au fond du vase, si la proportion de sel d'Epsom est suffisante; soit, s'il n'en est pas ainsi, au fond

du verre et du vase extérieur. Au fur et à mesure de la décomposition du sulfate de cuivre, une nouvelle quantité de dissolution saturée de ce sel descend du ballon et ainsi de suite.

Quel est le rôle que joue ici le sulfate de magnésie et quelles sont les décompositions diverses qui se produisent dans l'intérieur d'un élément? Le sulfate de magnésie, quoique étant un sel neutre, remplace dans ce cas l'acide sulfurique. Par suite de l'emploi de ce sel, le zinc est beaucoup moins vivement attaqué et s'use beaucoup moins rapidement. Ce n'est point d'ailleurs le seul exemple de cette substitution; la chimie en offre plusieurs autres qui méritent d'être notés ici. Ainsi M. Ramon de la Luna a proposé de faire servir, à la place de l'acide sulfurique, le sulfate de magnésie pour fabriquer HCl et NaO,SO^3; AzO^5, HO et Cl.



$$NaCl + MgO,SO^3,7aq = HCl + MgO + NaO,SO^3 + 6HO.$$



$$KO,AzO^5 + MgO,SO^3,7aq = AzO^5,HO + MgO + KO,SO^3 + 6HO.$$



$$2NaCl + 2MgO,SO^3 + MnO^2 = Cl + 2NaO,SO^3 + 2MgO + MnCl.$$

Les réactions qui se produisent dans l'intérieur d'un élément sont les suivantes : CuO, SO^3, par sa décomposition, donne Cu qui se dépose au pôle positif et $SO^3 + O$ qui se dirigent vers le pôle négatif. Mais MgO, SO^3 s'est de même décomposé en Mg qui marche vers le cuivre et $SO^3 + O$ qui marchent vers le zinc : il en résulte que MgO, SO^3 se reforme et que le zinc est oxydé et se dissout sous forme de sulfate de zinc. Ces réactions permettent d'expliquer que le cuivre naissant se dépose entièrement dans le verre, car le sulfate de magnésie se reforme incessamment à la partie supérieure du verre et aux dépens du sulfate de cuivre : celui-ci ne se répand donc pas au delà du petit récipient dans lequel il coule.

Cette concentration du cuivre dans le petit verre a l'a-

vantage d'éviter, dans l'intérieur de la pile, les actions secondaires ou locales qui l'affaiblissent et l'usent plus rapidement. A ce point de vue, l'existence d'une saillie intérieure qui retient le cylindre de zinc au-dessus du fond et de la nappe de sulfate de cuivre remplissant le verre et qui lui permet de descendre au fur et à mesure qu'il s'use, me paraît une bonne disposition.

Entretien et dérangements de la pile. — Les dérangements les plus fréquents, on peut même dire les seuls, qui se produisent dans le fonctionnement de cette pile proviennent de ce que la dissolution concentrée de sulfate de cuivre ne descend plus du ballon dans le petit verre.

Ce fait peut provenir soit de l'obturation du petit tube qui traverse le bouchon qui ferme le ballon, soit de la densité trop grande du liquide extérieur. Il arrive, en effet, qu'au bout d'un certain temps de service, ce liquide est très chargé de sulfate de zinc : il faut le renouveler au moins en partie. Il est facile de savoir quel est, dans une pile, l'élément qui fonctionne mal : il suffit d'examiner, à travers le vase extérieur, quel est le verre dans lequel la couleur de la dissolution de sulfate de cuivre a disparu.

Résultats économiques. — Le prix de l'élément Meidinger est de 5f,92. Une pile dure environ 3 mois et demi sans qu'on ait à l'entretenir autrement qu'en débouchant les petits tubes dans lesquels une obstruction vient à se produire. Au bout de trois mois et demi, il faut renouveler la provision de sulfate de cuivre : le renouvellement de ce sel est, de toutes les dépenses d'entretien, la plus considérable, en supposant que le cuivre ne puisse plus être utilisé; mais le cuivre n'est point perdu et doit pouvoir être écoulé dans le commerce. Après 4 ou 5 mois de fonctionnement, l'eau saturée de sel d'Epsom doit être renouvelée. Le cylindre de zinc ne dure guère plus de dix mois. Enfin, il faut de temps en temps, renouveler l'électrode positive, qui ne s'use pas, mais se brise quelquefois sous le choc du marteau

avec lequel il faut la frapper pour en détacher le cuivre précipité qui y adhère.

Le nombre des éléments d'une pile est variable avec le nombre des postes intermédiaires, c'est-à-dire avec le nombre des appareils établis entre deux gares consécutives. On admet que chacune des deux piles montées dans ces gares doit compter deux éléments et demi par appareil.

Il résulte d'une communication que la compagnie a bien voulu me faire que le prix d'installation des signaux à cloche peut être évalué comme il suit :

Supposons deux gares espacées de 4 kilomètres et 3 postes intermédiaires, c'est-à-dire espacés l'un de l'autre de 1 kilomètre, nous aurons :

	fr.
2 appareils de gare, à 291 fr. l'un.	582
3 id. garde-ligne, à 238 fr. l'un.	714
2 commutateurs, à 33 fr. l'un	66
2 piles, à 80 fr. l'une.	160
Fils, 100 fr. par kilomètre, soit pour 4 kilomètres.	400
Pose des appareils, consoles, imprévu.	15
Total.	1.937
Soit, en chiffre rond.	2.000
C'est-à-dire par kilomètre.	500

Dans le prix ci-dessus, ne sont pas compris les frais de construction des guérites dans lesquelles sont installés les postes intermédiaires. On avait tout d'abord l'intention d'installer ces postes uniquement dans les maisons de poseurs ou de garde-barrières, mais ces habitations ne sont ni assez nombreuses sur la ligne, ni assez régulièrement espacées.

Réglementation et langage conventionnel adopté par la compagnie P.-L.-M.

Les signaux adoptés par la compagnie P.-L.-M. sont au nombre de onze.

En désignant les coups par des points et les intervalles séparant deux séries consécutives de coups de cloche par des traits, on peut représenter graphiquement ces signaux comme il suit :

N° 1. — *Annonce d'un train impair :*

••• — ••• — •••

N° 2. — *Annonce d'un train pair :*

•• — •• — ••

N° 3. — *Annulation de l'annonce du départ d'un train impair :*

••• — • — ••• — • — ••• — •

N° 4. — *Annulation de l'annonce du départ d'un train pair :*

•• — • — •• — • — •• — •

N° 5. — *Demande d'une machine de secours à envoyer dans le sens des trains impairs :*

•••••• — ••• — •••••• — ••• — •••••• — •••

N° 6. — *Demande d'une machine de secours à envoyer dans le sens des trains pairs :*

•••••• — •• — •••••• — •• — •••••• — ••

N° 7. — *Demande d'une machine de secours avec wagon de secours dans le sens impair :*

••••••• — ••• — ••••••• — ••• — ••••••• — •••

N° 8. — *Demande d'une machine de secours avec wagon de secours dans le sens pair :*

••••••• — •• — ••••••• — •• — ••••••• — ••

N° 9. — *Arrêt général; arrêtez tous les trains :*

••• — •• — ••• — •• — ••• — •• —
(Ce signal d'alarme doit être répété trois fois.)

N° 10. — *Wagons merchant en dérive dans le sens impair :*

•••• — ••• — •••• — ••• — •••• — •••

N° 11. — *Wagons merchant en dérive dans le sens pair :*

●●●● — ●● — ●●●● — ●● — ●●●● — ●●

(Ces deux derniers signaux doivent être répétés deux fois de suite.)

Les signaux 1, 2, 3, 4 sont faits par les gares ; 5, 6, 7, 8 par les conducteurs-chefs des trains en détresse au moyen du bouton commutateur du poste le plus voisin ; le n° 9 par tout agent des gares ou de la voie qui s'aperçoit de l'existence d'un danger et qui n'a ni le temps ni les moyens de le faire disparaître : si, par exemple, il remarque que l'on a lancé deux trains l'un contre l'autre, que la voie est coupée ou obstruée ; si, au passage d'un train, il s'aperçoit d'une avarie grave à un véhicule, d'un commencement d'incendie ou d'une défectuosité dans le chargement pouvant amener un accident, etc.

A ce signal, « les gares doivent mettre à l'arrêt les disques « et sémaphores s'adressant aux trains venant de la direction « opposée à celle d'où part le signal d'alarme » ; les agents de la voie doivent aussi mettre à l'arrêt les signaux fixes dont ils disposent et s'ils n'en ont pas, placer des pétards sur la voie au point où ils se trouvent et se porter ensuite rapidement à 2.000 mètres de là au-devant du premier train attendu, en présentant le drapeau ou le feu rouge et en plaçant de nouveaux pétards toutes les fois qu'ils ont parcouru 500 mètres.

Les signaux n° 10 et n° 11 doivent être faits par tout agent des gares ou de la voie qui s'aperçoit d'une marche en dérive non encore annoncée. Les chefs de gare doivent alors prendre leurs dispositions pour recevoir ces wagons et interdire l'entrée dans leur gare aux trains attendus en sens inverse ; les agents de la voie arrêtent les trains allant à la rencontre des wagons en dérive ; les voyageurs descendent et sont placés en dehors de la ligne et la machine est abandonnée après avoir serré les freins du tender, à 200 mètres en avant de son train.

Installation des signaux à cloche sur la ligne d'Alais à Langeac; compte d'établissement et expériences faites sur ces signaux.

J'ai dit en commençant que les cloches autrichiennes sont déjà installées sur plus de 800 kilomètres de lignes à voie unique du réseau P.-L.-M. Mes fonctions d'ingénieur du contrôle m'ont appelé à suivre l'établissement de ces signaux sur les sections d'Alais à Langeac et d'Alais au Teil. Il me paraît intéressant de rendre compte sommairement, à titre d'exemple, des conditions dans lesquelles cette installation a été effectuée sur l'une de ces sections et des résultats obtenus.

Les signaux à cloche ont été établis sur la ligne d'Alais à Langeac dans le deuxième semestre de l'année 1878. Ils fonctionnent régulièrement d'Alais à Langogne depuis le 16 septembre et de Langogne à Langeac depuis le 17 décembre de la même année.

Le nombre des appareils existant entre Alais et Langogne (distance 87 kilomètres) est de 107, de Langogne à Langeac (distance 66^{km},500) de 62. C'est, à peu près, entre Alais et Langeac, un appareil par kilomètre, en ne comprenant dans le nombre total des cloches que l'une des deux cloches installées dans chaque gare.

La position des postes créés sur la ligne a été déterminée par la règle déjà citée et qui consiste à les placer de façon à éviter les zones neutres, c'est-à-dire de telle manière que d'un point quelconque de la voie l'on puisse entendre le son de la cloche la plus voisine. Un petit nombre de ces postes coïncident avec des maisons de poseurs : toutes les maisons de garde-barrières ont, autant que possible, été utilisées.

Les dérangements auxquels ils ont donné lieu depuis qu'ils fonctionnent sont peu importants et sont dus en majeure partie à l'affaiblissement du courant par suite des dérangements que j'ai signalés en parlant de la pile ; les

appareils eux-mêmes n'ont eu besoin d'aucune réparation proprement dite.

La Compagnie a bien voulu me faire connaître que le compte total d'établissement des appareils à cloches (matériel de ligne, appareils à cloches, matériel de pile, frais de construction des guérites) entre Alais et Issoire, dont la distance est de 220 kilomètres, revient à 663f,50 par kilomètre.

Les 18 et 19 novembre 1878, des essais furent entrepris d'Alais à Issoire, par M. Picard, chef de l'exploitation des chemins de fer de P.-L.-M., pour se rendre compte du fonctionnement des cloches autrichiennes et éprouver l'instruction des agents chargés d'appliquer le règlement relatif à ces nouveaux signaux. J'ai pris part à celles de ces expériences qui furent faites entre Alais et Langogne, c'est-à-dire sur une section dans laquelle les cloches étaient en service depuis deux mois.

Le 18, un train spécial parcourut la section de Chamborigand à Langogne.

Le train fut régulièrement annoncé au départ de chaque gare au moyen du signal n° 2, et, quelques instants après son départ, le signal n° 9 (arrêt général) fut fait à l'improviste par la gare d'où le train venait de partir. A la rencontre de chaque agent trouvé sur la voie, le train s'arrêtait et on interrogeait l'agent sur l'interprétation qu'il avait donnée au dernier signal.

Dans ces conditions, le train fut arrêté :

	DISTANCE. kilomèt.					
1° De Chamborigand à Génolhac. .	7,3	par 4	drapeaux	et	7	pétards
2° De Génolhac à Concoules.	6,4	par 3	id.	et	5	id.
3° De Concoules à Villefort	6,5	par 3	id.	et	5	id.
4° De Villefort à Prévenchères. . . .	10,8	par 6	id.	et	15	id.
5° De Prévenchères à La Bastide. .	9,4	par 4	id.	et	9	id.
6° De La Bastide à Luc.	7,4	par 3	id.	et	3	id.

7° De Luc à Langogne. — Le signal n° 9 fut mal passé par le chef de gare de Luc, et les agents de la voie ne comprirent pas ce qu'on leur voulait.

En résumé, de Chamborigaud à Luc, sur une distance de $47^k,9$, nous rencontrâmes 25 agents. Sur ce nombre, 23 nous arrêtèrent au moyen de leurs drapeaux et placèrent 37 pétards.

Des deux restants, l'un, un brigadier poseur, avait cru avoir accompli son devoir en envoyant dans chaque sens un poseur faire le signal d'arrêt; l'autre avait compris le signal n° 9, mais, sous prétexte qu'il n'avait pas de drapeaux, il avait couru avertir la garde-barrière la plus voisine.

En somme, ces expériences donnèrent les meilleurs résultats.

Des essais de même nature ont été effectués sur la plupart des sections munies d'appareils à cloche, à l'époque de la mise en service de ces signaux ; les résultats ont été partout des plus satisfaisants.

Depuis l'installation de ces signaux sur la ligne d'Alais à Langeac, à part les signaux 1 et 2 qui sont faits très régulièrement un peu avant le départ du train, afin que la responsabilité du conducteur-chef soit engagée aussi bien que celle du chef de gare dans l'accomplissement des prescriptions réglementaires, les agents des trains se sont régulièrement servis des signaux 4 et 5, et quelquefois 6 et 7 pour demander, en cas de détresse ou de déraillement, la machine et quelquefois le wagon de secours. De plus, le signal n° 9 a été passé dans plusieurs circonstances à la suite de déraillements encombrant la voie, d'éboulement interceptant la circulation, d'arrêt en pleine voie occasionné par les neiges, d'avaries constatées dans un train en marche.

En résumé, les cloches autrichiennes offrent, pour l'exploitation des lignes à voie unique, une sécurité, si non égale, du moins comparable à celle que le « block-system » a réalisé pour l'exploitation des lignes à double voie. Ces signaux se caractérisent par la simplicité de l'appareil

moteur, la simplicité des organes qui le composent, la sûreté de la transmission des signaux et la facilité de leur interprétation. Ils présentent sur les appareils de même nature employés sur d'autres réseaux, notamment sur les appareils Siemens à courant d'induction, l'avantage considérable de permettre à tout agent qui s'aperçoit, en un point quelconque de la ligne, qu'un danger menace la circulation des trains, de faire le signal d'alarme et d'avertir, pour ainsi dire instantanément, toute la section.

Ces signaux ont d'ailleurs fait leurs preuves sur le réseau P.-L.-M.; on doit à leur fonctionnement d'avoir évité deux graves accidents qui se seraient infailliblement produits sans le secours de ces appareils. Je terminerai la présente notice en rapportant en quelques mots les circonstances de ces deux événements.

Le 1er novembre 1878, un train de marchandise tombait en détresse à 11 heures 54 minutes du soir entre Aix-les-Bains et Chambéry, sur la ligne de Culoz à Modane, tristement célèbre par l'accident de Châtillon. Le conducteur-chef coupa en deux son train et en conduisit la première partie à Chambéry après avoir fait couvrir 17 véhicules qui restaient sur la voie. Quand il revint avec la machine prendre ces véhicules, il ne les retrouva plus : ils étaient partis en dérive. Il courut aussitôt au poste de signaux à cloche le plus voisin et fit, à minuit 44 minutes, le signal n° 9 d'arrêt général. La gare d'Aix-les-Bains reçut ce signal et retarda le départ du train express, qui aurait dû avoir lieu à minuit 46 minutes, et prit les précautions voulues pour éviter tout accident.

Sans les signaux à cloche, l'express, dont la vitesse moyenne est de 50 kilomètres, aurait inévitablement rencontré en pleine voie les wagons arrêtés, mais non couverts.

Le 7 juin 1879, à 8 heures 20 minutes du soir, sur la ligne de Paris à Montargis, la gare de Malesherbes expédiait une machine isolée sans attendre l'arrivée d'un train

de marchandises avec lequel cette machine devait régulièrement se croiser dans cette gare. La gare de La Brosse entendant le signal n° 1 qui annonçait le départ de la machine, retint le train de marchandises dont il s'agit. La gare de Malesherbes ne tarda pas à s'apercevoir de son erreur et fit aussitôt le signal n° 9. La machine isolée rencontra dans sa route un garde-barrière lui présentant le feu rouge; mais le mécanicien n'en tint aucun compte et arriva aux aiguilles de La Brosse où il s'arrêta, ayant trouvé à l'arrêt le disque avancé et le sémaphore. Ainsi, malgré deux fautes graves commises, l'une par un agent de l'exploitation, l'autre par un agent de la traction, la collision qui se serait certainement produite entre le train de marchandises et la machine isolée a pu être évitée.

On peut donc dire que les cloches autrichiennes ont déjà rendu à la Compagnie et au public des services signalés.

Alais, septembre 1880.

NOTE

SUR

DES CRISTAUX ÉPIGÈNES DE CUIVRE MÉTALLIQUE

PROVENANT

DES MINES DE CUIVRE DE CORO-CORO EN BOLIVIE

Par M. DOMEYKO.

Les cristaux hémitropiques d'aragonite de Coro-Coro présentent tous les degrés de transformation de ce minéral en cuivre métallique depuis l'état où on voit ces cristaux encore intacts, purs, jusqu'à la presque complète métamorphose en cuivre. Jamais cependant on ne les trouve changés en métal compacte; les plus denses des cristaux, entièrement couverts de cuivre, n'ont que 5,7 à 5,8 de densité, renfermant dans leur intérieur des cavités et toujours quelques restes d'aragonite non décomposée.

La forme des cristaux est toujours un prisme droit hémitropique, plus ou moins surbaissé, qui présente des angles rentrants très obtus et des stries sur les faces latérales. Ces angles et stries s'allongent dans le sens de l'axe vertical. A cause de l'oblitération non symétrique de certaines faces latérales au dépens des autres, les prismes sont ordinairement irréguliers, et il est impossible de mesurer les angles avec exactitude. Quelques cristaux moins irréguliers donnent, au goniomètre ordinaire, pour les angles saillants latéraux, 15° à 17°. La plupart des cristaux présentent aussi sur les arêtes verticales des inflexions tournées vers le centre. La base est plane, souvent légèrement concave. Les cristaux se groupent et se pénètrent, tantôt deux à deux, obliquement, ou se croisant à angle droit, quelquefois parallèlement à l'axe vertical; tantôt un grand nombre

de ces cristaux s'unissent en formant des petites masses sphériques. En général, les angles rentrants sur les côtés sont d'autant plus rentrants que leur métamorphose se trouve plus avancée : de sorte que les bases de certains cristaux, presque entièrement transformés en cuivre, forment souvent des belles étoiles métalliques rouges, à six rayons, bien symétriques, aux angles très rentrants, et à surfaces planes, luisantes, *fig.* 6, Pl. XII.

Les cristaux d'aragonite pure, ne contenant pas de traces de cuivre, sont, à l'extérieur, rouge-brunâtres ou bruns, teints par l'argile qui y adhère et leur sert de gangue : ils sont opaques, ou à peine translucides sur les bords, entièrement dépourvus d'éclat. Leur cassure est plane, compacte, esquilleuse, d'un blanc grisâtre, rarement homogène, d'un éclat faible. En coupant ces cristaux par le centre, on remarque souvent qu'une matière ocreuse, poreuse, présentant quelquefois des particules lamellaires, pénètre par le centre des bases, et par les faces latérales, aux centres des cristaux, *fig.* 5. Au chalumeau quelques petits fragments décrépitent, d'autres ne font que devenir noirs : on obtient toujours la réaction du manganèse.

La partie la plus pure, grisâtre, compacte, de l'aragonite se trouve composée de :

Carbonate de chaux.	85,6
Id. de manganèse.	11,2
Partie insoluble.	3,0

Cette même aragonite, prise d'un cristal à la surface duquel apparaissaient quelques particules de cuivre métallique, m'a donné à l'analyse :

Carbonate de chaux.	80,41
Id. de manganèse.	10,71
Sulfate de chaux.	3,71
Partie insoluble.	4,00

Le cuivre des cristaux épigènes est parfaitement pur, à

cassure cristalline, luisante; il perd promptement son éclat et la surface des cristaux se couvre facilement de matières terreuses vertes. Quand on coupe un cristal qui commence à peine à se métamorphoser, par un plan vertical passant par le centre et les angles rentrants, on observe souvent que le cuivre ne pénètre pas indifféremment de tous côtés dans l'intérieur du cristal, mais de préférence par les centres des faces latérales et par les parties centrales des bases, on dirait par des fissures qui peut-être gardent quelques rapports avec les plans de jonction des jumeaux qui concourent à former le cristal hémitropique de l'aragonite, (*fig.* 7).

Quant à la masse argileuse, dans laquelle se trouvent engagés tous ces cristaux d'aragonite, soit purs, soit métamorphosés en cuivre, cette masse est toujours brune, parfois rougeâtre, plus ou moins durcie, compacte, se cassant facilement. La cassure est plane ou conchoïde. Si l'on place un morceau de cette argile durcie sur le fond d'une tasse de porcelaine couverte d'une légère nappe d'eau, on voit bientôt l'eau monter par toute la masse d'argile, et dès qu'elle arrive au sommet du morceau, toute la masse se désagrège spontanément et se délite. Cette argile, bien desséchée à environ 100° C., ne perd au rouge clair que 6,35 p. 100 de son poids en eau de combinaison; délitée dans beaucoup d'eau, elle ne laisse point de résidu sablonneux.

Je trouve pour la composition de cette argile :

Silice	59,06	98,61
Alumine	22,00	
Oxyde de fer (Fe^2O^3)	9,00	
Chaux	1,50	
Magnésie	0,70	
Eau de combinaison	6,35	
Eau hygrométrique		variable
Traces de sous-sulfate de cuivre et de chlorure de sodium		»

Trois échantillons de cette masse argileuse, dans lesquels se trouvaient engagés quelques cristaux d'aragonite pure, et d'aragonite partiellement métamorphosée, avaient un goût un peu salé et présentaient quelques taches verdâtres, ce qui m'a obligé de rechercher et de déterminer la proportion de sel marin et de sels de cuivre. En effet, 5 grammes d'argile ont laissé dans l'eau bouillante 54 milligrammes de chlorure de sodium; attaqués par l'acide chlorhydrique, ils ont donné environ 1 p. 100 d'oxyde de cuivre et 1 à 2 p. 100 d'acide sulfurique, qui doit s'y trouver, en partie combiné avec l'oxyde de cuivre, à l'état de sous-sulfate, en partie combiné avec la chaux.

Quand on considère maintenant ces cristaux métamorphiques engagés dans une masse d'argile peu hydratée, perméable à l'eau salée qui doit augmenter sa conductabilité pour l'électricité, et ponctuée de sels cuivriques; quand en outre on voit le métal entrer dans l'intérieur de l'aragonite par des fissures et que ce métal a l'aspect de cuivre réduit sur les électrodes d'une pile, on est porté à se rappeler ces petits appareils électro-capillaires de Becquerel, qui produisent du cuivre métallique sur les fêlures des tubes de verre remplis d'un sel alcalin, entourés d'une dissolution cuivrique.

Je dois ajouter quelques mots sur le gisement du minéral que je viens de décrire, et dont on rencontre des quantités considérables dans les mines de Coro-Coro.

Ces mines diffèrent sous beaucoup de rapports de toutes les mines de cuivre connues jusqu'à présent au Chili et en Bolivie. Elles produisent actuellement plus de 60.000 quintaux par an de cuivre natif en poudre lavé, nommé *barrilla*, et on espère en extraire bientôt le double annuellement.

Le terrain qui renferme ces richesses minérales est stratifié, composé de couches de grès et d'argiles. On n'y voit pas de filons proprement dits et toute la matière métallique, tout le cuivre natif, s'y trouvent disséminés, principa-

lement dans les grès. Les mines occupent une partie du plateau qui s'élève à plus de 4.000 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer et situé entre deux chaînes des Andes boliviennes.

A l'endroit où se concentrent les travaux des mines les plus productives en cuivre, on remarque deux systèmes de stratification, dont l'un, composé principalement de grès (A) se relève du côté de l'Est et plonge du côté de la Cordillière occidentale, et l'autre (B), dans lequel prédominent les couches argileuses, s'incline à l'Ouest et plonge du côté des Andes orientales.

La ligne de jonction de ces deux systèmes est plus ou moins parallèle à ces deux chaînes de montagnes, les plus élevées de l'Amérique; tantôt on la voit entr'ouverte, laissant voir une masse argileuse, non stratifiée, E, sur laquelle reposent ces deux systèmes de stratification, et qui paraît remplir un centre de soulèvement; tantôt cette masse argileuse se cache sous le plan du contact immédiat des couches appartenant aux deux systèmes.

Ainsi la coupe transversale de tout le terrain, (de l'Est à l'Ouest), peut être représentée comme l'indique la *fig. 4*, Pl. XII.

C'est de cette matière que M. Sotomayor, gérant et directeur en chef des mines de Coro-Coro, représente l'enremble de deux systèmes de stratification, et de la partie riche en cuivre (*Annales de la Junta de Mineria de Copiapo*, 1877). D'après M. Sotomayor, à qui on doit des détails fort intéressants sur ces mines, les couches AA sont composées de grès, renfermant quelques assises de sulfate de chaux et de fer hydraté : outre le cuivre natif qui s'y trouve disséminé, on rencontre les mêmes grès pénétrés accidentellement de sous-sulfate de cuivre, de cuivre oxydulé, qnelquefois de cuivre gris ou d'arséniure de cuivre. Quelquefois même le cuivre natif est remplacé par l'argent métallique et le grès devient argentifère. Ces couches, très

redressées, forment un angle de 70° avec l'horizon et leur direction est de N. 30° O.; les mineurs les nomment *vetas*, filons (par l'habitude qu'ont les mineurs de Bolivie de ne voir des minerais métalliques que dans les filons). Les couches BB, nommées par les mineurs *ramos*, sont moins riches en cuivre que les précédentes; elles se composent principalement de matières argileuses, de sables quartzeux et de quelques lits de grès à ciment argileux. C'est dans ces couches argileuses B qu'on rencontre disséminés les cristaux d'aragonite pure et d'aragonite métamorphosée. Les *ramos*, ordinairement pauvres en matière métallique, sont moins inclinés que les précédentes, ne forment qu'un angle de 45° avec l'horizon et leur direction est de N. 20° O; mais on les trouve toujours très accidentées, coupées par des failles, et par des fentes remplies de matières argileuses.

Les *vetas* A les plus riches en cuivre métallique sont celles qui se rapprochent le plus du plan de contact des deux systèmes de stratification telles que V, V, et à mesure qu'elles s'en éloignent leurs strates deviennent moins inclinées et moins productives, de sorte qu'à une distance de ce plan de contact, égale environ à 2 kilomètres 1/2 pour les *vetas* et à 1 kilomètre pour les *ramos*, les travaux de mines deviennent complètement stériles. Les travaux d'exploitations se prolongent dans le sens de la ligne de jonction et d'écartement de ces deux formations, sur une étendue de 3 kilomètres du Nord au Sud.

Tout ce terrain, si l'on excepte quelques traces de charbon, accidentellement pénétré de cuivre métallique qu'on rencontre dans certaines couches de grès ou d'argile, est dépourvu de fossiles et de toute espèce de restes organiques.

M. Sotomayor, qui continue à faire une étude minutieuse du gisement de cuivre natif de Coro-Coro, attribue l'origine de l'immense quantité de ce cuivre à la réduction du sul-

fate de cuivre (apporté probablement par les eaux provenant des deux Cordillières où se trouvent des dépôts métallifères abondant en pyrites cuivreuses en décomposition), par le sulfate de protoxyde de fer, en présence du sel marin; devant résulter de cette réduction le sulfate de sesquioxyde de fer, qui à son tour, décomposé par la chaux, a dû produire le gypse et le fer hydraté que renferment les couches de grès chargées de cuivre métallique.

Le fait est que l'*ensemble* de ces deux systèmes de stratification en discordance, composée de couches perméables aux liquides et qui s'unissent aux deux chaînes des Cordillières, semblerait avoir formé dans le temps une énorme pile, dont les foyers de dégagement d'électricité seraient peut-être ces deux Cordillières qui renferment dans leur sein des matières métalliques en décomposition, et les électrodes ces mêmes couches aux extrémités desquelles se trouve actuellement l'immense dépôt de cuivre réduit.

Santiago, le 21 mai 1878.

NOTE SUR LES MINÉRAUX DE BISMUTH
DE BOLIVIE, DU PÉROU ET DU CHILI

Par M. DOMEYKO.

La Bolivie est le pays le plus riche en minerais de bismuth; les mines qui en produisent des quantités considérables sont celles de Tazna, de Chorolque, d'Oruro et plusieurs autres des environs de Guaina-Potosi, de Sorata, etc. Le bismuth s'y trouve ordinairement associé à l'étain et souvent à l'argent et à l'or. On a aussi découvert la présence du bismuth dans plusieurs localités au Pérou et au Chili, mais en quantités comparativement très limitées. Voici les principales espèces de minerais de bismuth qui proviennent de ce pays et qu'on pourrait diviser en trois groupes : *minerais sulfurés*, *oxygénés* et *métalliques*. Deux d'entre elles me paraissent nouvelles : l'oxysulfure ainsi que le chloro-arséniate et le chloro-antimoniate.

1° Minéraux sulfurés.

Bolivite. — Minéral de bismuth oxysulfuré dont la cristallisation paraît appartenir au prisme droit à rhombe : il est fragile.

D'après l'analyse que j'en ai faite récemment, je le considère comme un oxysulfure composé de protosulfure (Bi^2S^2) et de sesquioxyde de bismuth (Bi^2O^3).

Bismuthine. — Ce sulfure se trouve en quantité considérable dans les mines de Chorolque, non loin de celles de Tazna, en Bolivie. C'est de cette dernière localité que

provient l'espèce oxysulfurée précédente, où on la rencontre souvent accompagnée de bismuth natif et d'oxyde d'étain. Ces deux espèces sont aussi accompagnées des minerais oxydés dont il est question plus loin.

Sulfure double de bismuth et de cuivre. — On en trouve deux espèces, que j'ai antérieurement décrites, dans les mines de Cerro-Blanco, province d'Atacama, au Chili.

Sulfure de bismuth riche en argent. — M. Plücker vient de le trouver dans la mine Sainte-Mathilde de Morococha, au Pérou.

2° Minéraux oxydés.

Taznite. — Chloro-arséniate et chloro-antimoniate de bismuth : c'est l'espèce que je trouve en plus grande abondance dans les échantillons de minerai de bismuth qui m'ont été dernièrement envoyés des mines de Tazna et de Chorolque, en Bolivie. Ce minéral est amorphe et quelquefois imparfaitement fibreux.

D'après le résultat de mon analyse, ce minéral serait composé d'un équivalent d'acide arsénique ou antimonique, et d'un équivalent de sesquioxyde de bismuth. Il est mélangé, en proportion variable, d'oxyde hydraté et contient toujours deux à trois millièmes de chlore.

Des minerais analogues et également amorphes et terreux m'ont été envoyés des mines d'argent d'Oruro en Bolivie.

Oxychlorure ou *Daubréite.* — Cette espèce, que j'ai décrite précédemment, vient de la partie superficielle du gisement. Dans la collection des minéraux qui m'ont été envoyés dernièrement de Tazna et de Chorolque, et qui contiennent des sulfures (négrillos), caractérisant la région

inférieure des filons, je ne trouve plus que les chloro-arséniates et les chloro-antimoniates.

Oxyde de bismuth hydraté compacte et terreux. — C'est l'espèce la plus commune dans les minerais de Bolivie.

Silicate de bismuth hydraté. — Il accompagne le sulfure de bismuth de Chorolque.

3° Minerai métallique.

Bismuth natif. — Assez commun en Bolivie, il accompagne le minéral oxysulfuré de Tazna et ne contient pas de tellure. Dans d'autres localités de Bolivie, on trouve le bismuth natif métallique accompagnant l'or natif.

Bismuth telluré. — Alliage de bismuth et d'argent (argent bismuthal).

NOTE (*)

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

DANS UNE FORGE A GLASGOW (ÉCOSSE)

Par M. LUUYT, ingénieur en chef des mines.

Une désastreuse explosion de chaudière s'est produite le 5 mars 1880 dans l'usine de Saint-Rollox appartenant à la compagnie du chemin de fer de Glasgow (*Glasgow Iron Company*). L'atelier de puddlage contient 37 fours; 26 étaient en activité. La vapeur était fournie aux marteaux et aux machines par trois chaudières horizontales et sept chaudières verticales, placées chacune à la suite de deux fours; ces dernières contiennent deux conduits de flamme intérieurs qui servent chacun de cheminée à un four à puddler.

Celle qui a fait explosion a 9 mètres de hauteur et 2 mètres de diamètre. Les conduits intérieurs ont un diamètre de $0^m,63$; ils s'élargissent légèrement à la base. L'enveloppe extérieure est formée de 13 viroles de $9^{mm},2$ d'épaisseur. Le trou d'homme est pratiqué sur la deuxième virole en montant.

La pression effective est d'environ 3 kilog.

La partie inférieure des tubes est revêtue de briques réfractaires; il en est de même de leur partie supérieure, le long de la région occupée par la vapeur.

(*) Cette note est extraite d'un rapport, présenté à la Commission centrale des machines à vapeur dans sa séance du 20 juillet 1880. La Commission a émis l'avis qu'il y avait lieu de publier un extrait de ce rapport dans les *Annales des mines*.

La chaudière repose sur quatre piliers en fonte de 1m,20 de hauteur; les conduits intérieurs sont terminés par des cheminées de 2m,40 en tôle doublées de briques.

Le 5 mars 1880, vers 7 heures et demie, un peu avant le départ du poste du jour, les ouvriers du poste de nuit étant déjà arrivés, il y avait environ 70 hommes dans cette partie de l'usine. A ce moment la chaudière s'est subitement séparée en plusieurs fragments lancés dans toutes les directions, dévastant tout à l'entour et renversant une grande partie du toit, pendant que l'eau bouillante de cette chaudière et la vapeur de toutes les autres enveloppaient les assistants : 25 ouvriers ont été tués et 23 blessés.

L'examen des débris a clairement démontré que la chaudière a cédé le long d'une rivure longitudinale au-dessous du trou d'homme, où la tôle était corrodée jusqu'à l'épaisseur d'un tranchant de couteau par une fuite continue provenant de cette ouverture. La déchirure gagnait la rivure transversale au-dessus du trou, suivait cette ligne et se propageait en hélice, faisant deux fois le tour de la chaudière et déchirant quatre viroles successives; la bande ainsi formée s'est largement développée et a été rejetée en avant. Les deux viroles inférieures ont été brisées en deux ou trois fragments et lancées à une distance considérable de l'autre côté de la forge ; enfin la partie principale de la chaudière, formée des sept viroles supérieures et des conduits intérieurs, intacts ou à peu près, a été lancée verticalement et est retombée à 20 mètres de distance en détruisant une grande partie de la toiture.

Cette chaudière était en service depuis 20 ans, mais la fuite peut être beaucoup plus récente, il ne lui faut pas un aussi long temps pour exercer ses ravages. Les chaudières n'étaient soumises à la visite d'aucune compagnie d'inspection ou d'assurance; mais il a été dit que deux habiles ouvriers au service des propriétaires avaient pour unique emploi la surveillance des chaudières, et que

celles-ci étaient régulièrement inspectées chaque semaine.

En présence des faits constatés, il faut reconnaître que cette inspection laissait à désirer, et que l'attention des visiteurs ne se portait pas sur certains points du plus haut intérêt, car cette corrosion extérieure a dû être sensible bien avant d'avoir atteint sa limite extrême ; de plus, un croquis communiqué par M. Marten (*) montre la chaudière sans aucune enveloppe extérieure, la fuite et la corrosion auraient donc toujours été visibles.

Ces faits démontrent qu'il n'y a pas de sécurité sans inspection permanente de l'état des parois d'une chaudière ; ils dispensent de tout autre commentaire. »

(*) M. Marten, ingénieur en chef de la Compagnie d'inspection et d'assurance des chaudières à vapeur du Centre (Midland).

RAPPORT (*)

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

DANS UNE FORGE A WALSALL (ANGLETERRE)

Par M. LUUYT, ingénieur en chef des mines.

L'*Engineering* a publié plusieurs articles sur l'explosion d'une chaudière survenue le 15 mai 1880 aux forges de Birchills Hall à Walsall (*Staffordshire*).

Cet accident, qui a eu des conséquences désastreuses, causant la mort de 25 personnes et un grand nombre de blessures, s'est produit dans les circonstances suivantes :

La chaudière était verticale, du type Rastrick, très usité en Angleterre; la forge en contenait six semblables. Celle qui a fait explosion est formée d'une enveloppe cylindrique à fonds hémisphériques ; un conduit intérieur ayant le même axe s'élève jusqu'à la moitié de la hauteur et communique avec l'extérieur par quatre branches horizontales correspondant chacune à un four. (V. Pl. XIII, *fig.* 1 et 2.) Trois de ces fours étaient des fours à puddler, l'autre un four à réchauffer. Chaque four a son carneau de chauffage séparé des autres par des murettes; les flammes montent le long de la surface extérieure, suivant les branches horizontales et se réunissent toutes dans le conduit intérieur qu'elles parcourent en descendant pour se rendre à la cheminée.

Les dimensions principales de la chaudière sont :

(*) Ce rapport a été présenté à la Commission centrale des machines à vapeur dans sa séance du 20 juillet 1880. La Commission a émis l'avis qu'il y avait lieu de le publier dans les *Annales des mines*.

Hauteur du corps principal.		8 mètres.
Diamètre du corps principal.		3,10
Conduit intérieur.	Diamètre.	1,25
	Hauteur.	3,30

Cette chaudière, construite depuis seize ans, a reçu de nombreuses réparations.

Les premières tôles avaient une épaisseur de 11 millimètres, convenable pour une pression effective de 3 kilog. Les tôles employées dans les réparations, n'étant que de 9 millimètres ou $9^{mm},5$, correspondaient à une pression de $2^k,5$.

La chaudière portait une soupape de prise de vapeur, des robinets de jauge, un flotteur, une soupape d'alimentation, une soupape de sûreté de $13^c,8$ de diamètre, chargée, autant qu'on a pu le reconnaître, pour une pression de 3 kilog. Il y avait un manomètre unique dans la chambre des machines, placé sur un tuyau de prise de vapeur ; on a dit qu'il marquait habituellement 2 kilog. ; mais, à une aussi grande distance des chaudières, il ne donnait pas d'indications précises, surtout quand la machine fonctionnait.

La position des fragments après l'explosion indique que la première rupture a dû se produire en face du *col* du four à réchauffer dans une couture verticale. La déchirure s'est étendue rapidement jusqu'au tube de jonction immédiatement au-dessus et ensuite horizontalement tout autour de la chaudière au même niveau. En même temps elle descendait à la base et suivait la jonction du conduit central avec l'enveloppe. La partie inférieure a été aussi déchirée en quatre fragments qui ont été retrouvés dans des positions correspondant à la place qu'ils occupaient avant l'accident. La partie supérieure de l'enveloppe retenant les conduits intérieurs a été lancée dans une direction opposée à la première déchirure.

L'examen attentif de la déchirure où l'on suppose qu'elle

a commencé, montre que la couture a été grandement endommagée par le jet de flamme du four sur le bord d'une lèvre de joint qui lui faisait face, et qu'il s'y est produit des fuites abondantes attestées par la corrosion des tôles auprès du joint. Plusieurs pièces rapportées sur la calotte hémisphérique montrent que d'autres corrosions s'étaient déjà produites. Des incrustations sur le corps des rivets dans la déchirure indiquent une fuite considérable avant l'explosion. Le joint a été fortement maté en dehors et en dedans; ces réparations répétées rendaient ce joint peu sûr, elles paraissent avoir eu pour but d'arrêter la fuite, sans tenir compte de l'effort occasionné à la couture ni de l'altération de la tôle par un matage aussi prononcé. A la fin, le joint devint trop faible pour supporter la pression de la vapeur, qui pouvait être de 3 kilog., auxquels il faut ajouter $0^{k},400$ pour la pression de 4 mètres de hauteur d'eau.

La cause immédiate de l'explosion semble donc être l'affaiblissement de la couture par des raccommodages peu judicieux; mais d'autres circonstances y ont contribué : le mauvais état de la chaudière a été aggravé parce qu'il est arrivé que les recouvrements des tôles faisaient face au four le plus chaud, tandis que l'alimentation à basse température était introduite dans le voisinage immédiat de ce point. L'altération de la structure de la chaudière par la multiplication des pièces et les nombreuses coutures des tôles de la partie cylindrique détruisant l'interruption des joints n'ont pas rendu à l'appareil sa résistance primitive; de plus, les pièces rapportées ne paraissent pas de qualité convenable pour l'enveloppe d'une chaudière aussi importante: enfin, lors du chauffage le plus intense, comme cela s'est présenté au moment de l'explosion, la pression était certainement plus élevée que celle qui a été admise par ceux chargés de la conduite.

Ces détails sont extraits du rapport de M. Marten à l'en-

quête du coroner ; d'autres rapports ont été produits ; on a fait ressortir l'affaiblissement de l'enveloppe résultant des quatre ouvertures pratiquées à la même hauteur pour l'insertion des quatre branches ; on a discuté la marche de la déchirure et longuement exposé de nombreux détails ; tous les renseignements s'accordent à démontrer que cette chaudière était depuis longtemps dans un état dangereux ; on la réparait à mesure ; mais on peut dire que les répations arrivaient toujours trop tard, quand elles auraient dû au contraire prévenir les affaiblissements ; enfin la chaudière était visitée d'une manière insuffisante, puisque les corrosions et les profonds sillons, qui existaient auprès des joints non étanches, n'ont pas été aperçus.

La conclusion du jury a été que l'accident provenait de négligence et mauvaise direction de l'appareil, mais sans attribuer de faute à personne en particulier, de sorte que l'instruction s'est terminée par un verdict de mort accidentelle.

Les chaudières étaient depuis peu assurées à la compagnia d'assurance des chaudières (*Boiler Insurance and steam Power company*). Elles avaient été soumises pendant deux ou trois ans à l'inspection préalable de la compagnie ; la réalisation de l'assurance avait été retardée par l'attente de diverses modifications demandées par la compagnie ; enfin le contrat avait été conclu. Mais alors on constate un certain relâchement dans les actes des deux parties ; la compagnie d'assurance ne signifie pas aux maîtres de forges toutes les irrégularités constatées par ses inspecteurs et que ceux-ci ont fait reconnaître aux agents inférieurs de l'usine. De leur côté, les inspecteurs n'exigent pas que les chaudières soient mises à nu pour effectuer leurs visites *complètes;* il en résulte que ces visites ne sont pas ce qu'elles devraient être ; comme le dit un des inspecteurs, elles sont complètes autant qu'elles ont pu l'être, puisque l'on n'arrêtait pas le chauffage. Ainsi il a été fait

une visite en mars : si elle avait été réellement complète, elle aurait révélé les corrosions qui ont causé l'accident deux mois plus tard.

Cette assurance soulève une question très importante. A qui incombe la responsabilité de l'accident ? Les maîtres de forges prétendent que la compagnie d'assurance doit tout prévoir et répondre de tout; celle-ci se croit à l'abri de toute recherche dès qu'elle a indiqué les mesures à prendre pour éviter les accidents, quand même ces mesures ne sont exécutées que d'une façon incomplète. Le débat sera d'autant plus difficile que les positions n'ont pas été dessinées assez nettement; d'une part, les maîtres de forges n'ont pas été formellement mis en demeure de faire les réparations et modifications nécessaires, et d'autre part, ils n'ont pas toujours fait le peu qui leur était demandé.

NOTE (*)

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

DANS UNE FABRIQUE DE COTONNADES A ROANNE (LOIRE)

Par M. A. MEURGEY, ingénieur des mines.

Le 10 juin 1880, à 1 heure 40 minutes du soir, une explosion de chaudière à vapeur a eu lieu à Roanne, dans la fabrique de cotonnades de la maison L. Chavoit, rue des Planches, 8. Fort heureusement elle n'a amené que des dégâts matériels, et des dégâts sans importance. Elle n'en présente pas moins dans ses circonstances et ses causes un véritable intérêt (**).

I.

L'usine Chavoit renferme deux chaudières à foyer intérieur, semblables et ayant les dimensions suivantes :

	Longueur.	Hauteur.	Diamètre.
Corps principal.	$6^m,08$	»	$1^m,45$
Foyer intérieur.	$6^m,08$	»	$0^m,80$
Dôme.	»	$1^m,155$	$1^m,30$

Elles sont installées dans un même local, dont la fig. 3, Pl. XIII, montre la disposition (chaudière A et chaudière B).

(*) Cette note est extraite d'un rapport, dont la Commission centrale des machines à vapeur a pris connaissance dans sa séance du 12 octobre 1880, et a proposé la publication dans les *Annales des mines*.

(**) Cette même explosion a fait l'objet d'une communication à la Société des sciences industrielles de Lyon (séance du 23 juin 1880), par M. L. Bour, ingénieur de l'Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur; nous n'en avons eu connaissance que tout récemment, en novembre. A. M.

Construites par M. Colombet, fabricant à Rive-de-Gier (Loire), elles sont timbrées à 7 kilog. La chaudière A a été éprouvée, neuve, le 29 juillet 1876 et mise en activité en janvier 1877; la chaudière B a été éprouvée, neuve aussi, le 24 mai 1877 et mise en service peu de temps après.

C'est la chaudière A qui a fait explosion. Le corps principal de ce générateur était formé de quatre viroles, constituées chacune par deux tôles faisant moitié du cylindre.

Le corps intérieur était, comme le principal, composé de quatre viroles, mais chacune de celles-ci était formée d'une seule tôle.

Au corps principal, les rivures longitudinales étaient doubles, et les rivures circulaires simples. Au foyer intérieur toutes les rivures étaient simples. Pour l'ensemble de l'appareil, les rivets avaient 21 millimètres de diamètre à la tige, et étaient écartés de 57 millimètres d'axe en axe.

Les tôles du corps principal étaient des tôles ordinaires de 14 millimètres d'épaisseur. Au foyer intérieur, 3 viroles étaient en tôle ordinaire, et une, celle du coup de feu, en tôle n° 4. Ces dernières tôles avaient $11^{mm},3$ d'épaisseur.

Le générateur était pourvu de tous les appareils réglementaires.

Les éléments de chacune des deux soupapes de sûreté étaient les suivants :

Diamètre de l'orifice de la soupape.	$6^{centimèt.},8$
Poids de la soupape	$0^k,850$
Charge résultant de l'action directe du levier.	$10^k,00$
Poids proprement dit.	$31^k,00$
Longueur du grand bras de levier.	$0^m,640$
Longueur du petit bras de levier.	$0^m,075$

Ces conditions correspondent à un timbre

$$n = \frac{4\left[(0^k,850 + 10^k) + 31^k \times \frac{640}{75}\right]}{6,8 \times 6,8 \times 4,14} = 7^k,586.$$

légèrement supérieur au timbre pour lequel la chaudière avait été éprouvée.

Un seul manomètre existait pour les deux chaudières ; il était en bon état.

Comme appareils indicateurs du niveau de l'eau, étaient un tube en verre et deux robinets de jauge, le tout convenablement installé.

Une plaque fixée à côté du tube indicateur portait la ligne réglementaire destinée à marquer le niveau au-dessous duquel la surface liquide devait ne jamais s'abaisser dans le générateur. Cette ligne est à $0^m,180$ au-dessous de l'extrémité supérieure du tube indicateur et à $0^m,045$ au-dessus de celle inférieure.

L'alimentation était faite au moyen d'une pompe foulante mue par un excentrique calé sur l'arbre moteur de la machine. L'eau arrivait par un tuyau unique *t* jusqu'à une cuvette *c* située au-dessus et sur l'arrière du massif des fourneaux. Deux tuyaux t' et t'', fixés à la cuvette *c*, servaient à conduire l'eau dans les chaudières ; ils se prolongeaient jusqu'au tiers inférieur de celles-ci. Sur le tuyau *t* était un robinet *r* et sur chacun des deux autres une valve *v*, v'. Il n'existait pas sur eux d'appareil de retenue. Nous aurons à examiner plus loin le rôle probable joué par l'absence d'appareil de ce genre dans l'accident.

Ajoutons que la prise de vapeur est disposée comme le montre la figure 6. De chaque dôme s'élèvent deux tuyaux de prise aboutissant à un collecteur horizontal ; chacun des quatre tuyaux possède une valve 1, 2, 3, 4, et le collecteur, la valve de mise en train M.

II.

Il y a interruption dans le travail du tissage de midi à 2 heures, pour le repas du milieu de la journée.

Le 10 juin, à 1 heure 40 minutes, c'est-à-dire un peu

avant la rentrée des ouvriers, le chauffeur Donjon (Jean) venait de lever le registre qui règle la communication des carneaux avec la cheminée d'appel, pour faire monter la pression, et se rendait dans le local de la machine, lorsque, soudain, une déchirure se produisit au ciel du foyer intérieur de la chaudière A. L'eau et la vapeur s'échappant avec violence par l'ouverture ainsi formée projetèrent en avant les charbons du foyer et avec eux un pique-feu de $2^{m},50$ de longueur et de $0^{m},04$ de diamètre, qui se trouvait en *a* adossé au mur. Le torrent brisa le battant gauche de la porte d'entrée du local des chaudières ; plus loin, les objets heurtèrent et renversèrent la porte d'entrée de la cour *p* ; enfin des charbons incandescents arrivèrent jusque de l'autre côté de la rue des Planches, tombèrent par une croisée dans un magasin, et mirent le feu à un dossier de chaise et à un morceau d'étoffe. Ce commencement d'incendie fut immédiatement éteint.

Les ouvriers, au nombre d'environ 200, commencent à rentrer à 1 heure 30 minutes et en masse presque compacte. Ils pénètrent dans la cour par la porte *p* et passent devant les chaudières pour se rendre dans les ateliers. Si l'explosion s'était produite un quart d'heure plus tard, la masse entrante aurait été attaquée de tête par les projections et il y aurait eu sans nul doute un grand nombre de victimes.

III.

La déformation du cylindre intérieur commençait à $0^{m},50$ de l'origine avant de la chaudière et se continuait jusqu'à l'extrémité de la première virole, soit sur un mètre de longueur, avec $0^{m},35$ de saillie ; suivant la section droite, elle occupait, dans son plus grand développement, un tiers environ de la circonférence. La déchirure s'est produite suivant la section droite. L'ouverture avait $0^{m},80$ de longueur et une largeur maxima de $0^{m},22$. Les figures 4 et 5 montrent

l'état de l'appareil après l'explosion. La tôle qui s'est déchirée a pu être au début de très bonne qualité ; mais elle se trouvait notablement altérée, lors de l'explosion, d'abord par des coups de feu antérieurs, ensuite par de nombreuses blessures faites, sans nul doute, par l'outil avec lequel on avait piqué des incrustations assez importantes (*). L'épaisseur de cette tôle, comme nous l'avons dit plus haut, était de 11^{mm},3 ; c'est, à peu près, celle adoptée par tous les constructeurs du Rhône et de la Loire pour les chaudières semblables à celle qui nous occupe (**).

IV.

La cause de l'explosion est des plus certaines : la partie du cylindre intérieur, qui s'est déformée et déchirée, avait un aspect bleu qni tranchait nettement sur la couleur du restant du métal ; ce fait démontre d'une façon irrécusable que la tôle avait été portée à une température élevée, par suite d'un abaissement anormal du niveau de l'eau dans le générateur ; la diminution qui en est résultée dans la résistance du métal a rendu possible la déformation et la rupture de la tôle ; la pression intérieure n'avait d'ailleurs subi aucune surélévation (***).

Comment l'abaissement du niveau de l'eau s'est-il produit ? C'est difficile à savoir.

(*) M. Bour déclare ladite tôle mauvaise ; la surface en est couverte de fissures et de criques ; la déchirure a été nette, presque sans arrachements.

(**) D'après le même, à 7 kilog., cette tôle travaillait à 2^{k},545 par millimètre carré de section, alors qu'on n'aurait pas dû dépasser 2 kilog.

(***) M. Bour déclare qu'une tôle de qualité pareille n'aurait pu *à froid* subir une semblable déformation avant de se déchirer ; il trouve en outre la preuve que la chaudière contenait très peu d'eau dans l'absence de tout déplacement de celle-ci, de tout ébranlement dans la maçonnerie du fourneau.

Le chauffeur Donjon (Jean) nous a expliqué et affirmé :

1° Qu'il alimentait ses chaudières quatre fois par journée de 13 heures (y compris 2 heures de repos), en opérant séparément pour chaque chaudière ;

2° Que le 10, il avait alimenté de 9 heures à 10 heures un quart la chaudière B, et de 10 heures un quart à 11 heures et demie la chaudière A ;

3° Que, conformément à son habitude, il a, après cette alimentation, laissé une des deux valves *v* et *v'* ouverte, sans pouvoir dire laquelle ;

4° Qu'à 11 heures et demie, le niveau dans A était inférieur de 3 à 4 centimètres à l'extrémité supérieure du tube indicateur ;

5° Qu'à midi, il a arrêté la machine comme d'habitude, fermant d'abord les 4 valves 1, 2, 3, et 4 et, tout de suite après, la valve de mise en train M ; qu'ensuite il a baissé le registre, sans ouvrir les portes des gueulards ; que dès lors, les deux chaudières ont été complètement isolées l'une de l'autre pendant les deux heures d'arrêt ;

6° Qu'à son retour, à 1 heure 38 minutes, il a trouvé le niveau dans A abaissé de 3 à 4 centimètres, mais supérieur de beaucoup à la ligne d'eau, et le niveau dans B très élevé, voisin de l'extrémité supérieure du tube indicateur ;

7° Que le manomètre marquait alors 5 kilog., pression un peu inférieure à la pression de marche ;

8° Qu'il a levé le registre (*), n'a pas touché aux diverses valves et s'est en allé à la machine pour la graisser avant de mettre en train ;

9° Qu'il n'a en rien touché à la valve *v'* après l'explosion.

(*) M. Bour pense que la déformation n'existait pas encore et qu'il a fallu l'activation du feu par la levée du registre pour que la tôle rougit et fut dans le cas de se déformer, puis de se déchirer comme on l'a vu.

On ne saurait évidemment tenir compte de l'affirmation de Donjon relative au niveau de l'eau dans la chaudière A à 1 heure 38 minutes, parce que cette affirmation est intéressée et démentie par les faits, ni de l'affirmation relative à l'absence de toute manœuvre de la valve v' après l'explosion, parce qu'elle est intéressée également et que les faits la rendent improbable.

Sur notre observation que l'abaissement du niveau de 3 à 4 centimètres, signalée par lui de 11 heures et demie à 1 heure 38, pour la chaudière A, ne correspondait pas à la marche durant une demi-heure, de 11 heures et demie à midi, Donjon nous a dit qu'il croyait que cette chaudière avait une fuite assez forte.

M. Altorfer, directeur de l'établissement, nous a déclaré :

1° Qu'étant passé devant les chaudières vers 11 heures et demie, il avait remarqué que le niveau de l'eau dans B était très haut et atteignait la partie supérieure du tube en verre, mais qu'il ne se rappelait rien pour le niveau dans A ; sûrement il a regardé cette chaudière, et a dû y trouver de l'eau en quantité suffisante ;

2° Qu'arrivé en toute hâte après l'explosion, à 2 heures moins 5 minutes, il a trouvé Donjon dans la cour, la valve v ouverte, l'autre valve v' et les cinq prises de vapeur 1, 2, 3, 4, M, fermées ;

3° Que le niveau de l'eau dans la chaudière B était plus bas qu'à 11 heures et demie de 5 à 6 centimètres ;

4° Qu'il a tout de suite questionné Donjon, lequel était très ému, pour savoir si, aussitôt le gros de la vapeur dégagé, il n'était pas monté sur les chaudières et n'avait touché à rien, par exemple, s'il n'avait pas fermé la valve v' qui serait restée ouverte depuis midi ; Donjon lui a répondu négativement ;

5° Qu'il croyait que personne autre que Donjon n'avait pu monter sur les chaudières avant son arrivée à lui, Altorfer ;

6° Que la chaudière A n'avait aucune fuite, contrairement à l'allégation d'ailleurs incertaine de Donjon.

L'enquête a démontré qu'avant l'accident du 10 juin chacune des deux chaudières de l'établissement Chavoit avait reçu un coup de feu. La chaudière A a manqué d'eau vers le mois d'avril 1877. Il n'est toutefois résulté de ce manque d'eau aucun accident, aucune déformation du foyer intérieur (*). Le coup de feu de la chaudière B a eu lieu au mois d'octobre 1877. Le niveau de l'eau est descendu à 0m,25 au-dessous du ciel du foyer et le métal a rougi. Le chauffeur a éteint rapidement le feu, et aucun accident n'a été à déplorer. Ce chauffeur, qui a quitté l'établissement et que nous n'avons pu interroger, a expliqué, paraît-il, qu'il avait omis d'isoler les chaudières pour les alimenter, qu'il s'était bientôt aperçu de l'erreur qu'il avait commise, mais qu'il avait remarqué en même temps que le ciel du foyer rougissait et qu'il avait cru prudent d'éteindre immédiatement le feu.

On ne peut guère révoquer en doute que le chauffeur ait alimenté de 9 heures à 11 heures un quart ou 11 heures et demie. Mais, pour nous, il a laissé, durant l'arrêt, les deux valves *v* et *v'* ouvertes, soit qu'après avoir alimenté la chaudière B, il ait oublié de fermer sa valve *v'* d'admission avant d'ouvrir la valve *v* d'admission dans l'autre A, soit qu'après avoir alimenté la chaudière A, ou seulement à midi, lors de l'arrêt, il soit venu ouvrir la valve *v'* de B, qui devait être la première à réalimenter, afin qu'elle fût toute prête pour cela et qu'alors il ait oublié de fermer la valve *v*. Quoi qu'il en soit, les chaudières, dont les dômes étaient isolés, ont dû communiquer à leur partie inférieure par les tuyaux *t' t''*, et il a suffi d'une petite inégalité dans la pression de la vapeur au sein des deux

(*) D'après M. Bour, en faisant une réparation au dôme au commencement de 1877, on se serait aperçu d'une très légère déformation du foyer.

appareils pour que l'eau de la chaudière A ait été transvasée dans la chaudière B. L'élévation anormale du niveau de l'eau dans la chaudière B, constatée par M. Altorfer à 11 heures et demie, par Donjon deux minutes avant l'explosion, et par M. Altorfer un quart d'heure après, corrobore notre hypothèse dans une certaine mesure. Nous présumons d'ailleurs que les deux coups de feu antérieurs ont été aussi la conséquence d'un transvasement.

Quant à ce fait que la valve v' aurait été trouvée fermée, nous pensons que Donjon, une fois l'explosion de A consommée, aura entendu le bruit de l'écoulement dans A de l'eau chaude de B par les tuyaux t'' t' ; qu'aussitôt éclairé sur ce qui s'était passé, il aura couru fermer ladite valve v', ce qui pouvait se faire sans aucun danger, pour empêcher B de continuer à se vider, et éviter de plus grands dégâts. Il faut noter qu'un quart d'heure s'est écoulé entre l'explosion et l'arrivée de M. Altorfer, qui a trouvé la valve v ouverte et la valve v' fermée.

La cause de l'accident du 10 juin tiendrait ainsi, pour une part, à une erreur, à une inadvertance du chauffeur, et, pour une autre part, à une imperfection de l'appareil alimentaire, imperfection consistant dans l'absence d'une soupape de retenue pour chaque chaudière.

Bien peu d'appareils, dans notre sous-arrondissement minéralogique, sont pourvus de telles soupapes sur les tuyaux d'alimentation. L'utilité en est cependant incontestable et le décret du 30 avril 1880 a comblé une véritable lacune en les rendant obligatoires.

Rive-de-Gier, le 8 juillet 1880.

BULLETIN.

DROITS D'ENTRÉE.

Régime fiscal établi par une loi du 23 mai 1880 pour l'importation, en Portugal, du charbon et du coke (*)

		fr.
Charbon de terre, le tonneau		1,87
Coke	id.	3,74

CONSOLIDATION DES TUBES ET FOYERS INTÉRIEURS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR.

La note suivante, rédigée par la Commission consultative des machines à vapeur de Belgique, a été adressée le 25 mai 1877 par M. le Ministre des travaux publics aux ingénieurs en chef des mines et des ponts et chaussées, avec prière d'appeler sur les observations qu'elle contient l'attention sérieuse des industriels qui construisent et qui emploient des chaudières à foyers ou tubes intérieurs.

Note.

« Plusieurs accidents survenus, dans ces derniers temps, à des chaudières à foyers intérieurs du type dit de *Cornouailles*, ainsi qu'à des chaudières à foyer extérieur et à gros tubes intérieurs ont appelé l'attention du département des travaux publics sur ces systèmes de générateurs.

« Comme on le sait, les conditions de résistance d'un tube soumis à une pression uniforme sur sa surface cylindrique ne sont pas les mêmes, toutes autres conditions égales d'ailleurs, que cette pression s'exerce intérieurement ou qu'elle agisse extérieurement. Dans le premier cas, c'est surtout la résistance du métal à l'extension qui se trouve mise en jeu; la pression intérieure tend d'ailleurs à maintenir la forme circulaire du tube et à l'y ramener,

(*) Supplément au tableau inséré dans le Bulletin du 1er volume de 1879, p. 617.

si une cause quelconque venait à en altérer le profil. Dans le second cas, c'est au contraire la résistance du métal à la compression qui intervient surtout, quand le tube est et reste parfaitement circulaire; mais s'il vient à se déformer, la pression extérieure tend à le déformer davantage, la forme circulaire constituant dans l'espèce un système d'équilibre instable; dès lors, la rupture est bien plus à craindre par l'aplatissement initial du tube que par l'insuffisance de résistance du métal à la compression. Les relations qui existent entre les divers éléments concourant, dans ces dernières conditions, à la résistance du tube, sont sans utilité pratique, attendu que l'application des éléments dont il s'agit est pour ainsi dire impossible dans chaque cas particulier.

« Au surplus, un fait est certain : c'est que, dans ce cas, la résistance est considérablement diminuée et que l'on peut généralement considérer l'aplatissement initial, même très faible, d'un tube pressé de dehors en dedans, comme devant entraîner fatalement, à plus ou moins bref délai, son aplatissement total.

« Le premier point à observer, dans la construction de semblables tubes, est donc que leur profil, résultant du cintrage des tôles et du mode d'assemblage de celles-ci, soit pour ainsi dire rigoureusement circulaire; et il importe, ensuite, que la *rondeur* du tube ne s'altère pas par l'usage. Or, indépendamment des déformations qui peuvent provenir de causes accidentelles, telles que, par exemple, le ramollissement du métal par suite de chauffage à sec, le tube intérieur est sujet à s'ovaliser : la partie supérieure étant, en effet, chauffée à une température plus haute que la partie inférieure, l'inégalité de dilatation qui en résulte tend à courber le tube, et, par suite, à aplatir son profil; en outre comme le tube est immergé, la pression de bas en haut qu'il subit de ce chef, favorise encore sa tendance à se courber.

« Pour prévenir l'aplatissement par ces diverses causes, plusieurs moyens ont été appliqués. Certains constructeurs se sont attachés à majorer les épaisseurs des tôles en augmentant de 1/3 ou 1/2 l'épaisseur fournie par la formule $e = 1,8\,(n - 1)\,D + 3$, applicable aux chaudières cylindriques pressées de dedans en dehors; d'autres, à consolider les tubes par des nervures extérieures placées de distance en distance. On ne peut méconnaître que l'augmentation de l'épaisseur augmente la rigidité du tube; toutefois, la pratique semble établir que le second moyen de consolidation est plus efficace et plus sûr.

« Les différents dispositifs employés sont figurés Pl. XIII, *fig.* 7 à 10.

« Dans les figures 7, 8, 9, les nervures se trouvent aux rivures transversales d'assemblage des tronçons consécutifs, la première est formée par un anneau en fer plat *A*, enserré entre les bords relevés en équerre de deux tronçons consécutifs; la deuxième et la troisième, par l'application sur tout le pourtour, à l'endroit de deux extrémités consécutives de tronçons, de fer spéciaux laminés, de qualité supérieure, ayant les profils *B* et *C*.

« La figure 10 montre une nervure formée par une bague faite au moyen d'un fer d'équerre *D*, maintenue à une certaine distance de la surface extérieure du tube, par de petits tasseaux *bb*, fixés de distance en distance sur le pourtour. Cette nervure est placée sur le corps même du tronçon; la rivure transversale se fait, dans ce cas, à la manière ordinaire.

« L'emploi de ces différents moyens, avec des fers spéciaux d'excellente qualité, concurremment avec la détermination des épaisseurs par la formule ci-dessus rappelée, sans majoration, paraît constituer le mode de construction le plus recommandable des tubes intérieurs.

« Quant à l'espacement à adopter entre les nervures consécutives, il est à remarquer que les chances d'altération du profil circulaire d'un tube augmentent avec sa section, et, partant, que le nombre d'éléments de consolidation doit croître en raison du diamètre du tube.

« Jusqu'à présent, aucune règle absolument certaine et applicable au cas dont il s'agit, n'a été signalée; toutefois, on peut recommander les indications du tableau ci-dessous.

DIAMÈTRES en mètres, *D*.	DISTANCE DES ARMATURES en mètres, *A*.
mètres.	mètres.
1,25	0,80
1,00	1,00
0,75	1,33
0,50	2,00

« La distance *A* est calculée, dans ce tableau, en fonction du diamètre *D*, par la règle $A \times D = 1$. Selon que l'assemblage des tôles et le dispositif des armatures seront plus ou moins soignés, on pourrait attribuer à $A \times D$, un chiffre supérieur ou inférieur à l'unité.

« Les dispositifs renseignés ci-dessus sont peu répandus chez nous à cause du surcroît de dépense qu'ils imposent; on ne saurait cependant trop recommander aux industriels de ne pas faire, en ces matières, d'économie mal entendue, et de ne pas s'exposer,

pour épargner une somme relativement faible, à de graves accidents et à de lourdes responsabilités.

« Il est encore un moyen de consolidation des tubes intérieurs : c'est l'emploi des tubulures Galloway, formant tubes bouilleurs dans l'intérieur du tube chauffeur ; c'est un dispositif des plus recommandables, parce qu'il offre, outre l'avantage de soutenir les parois du tube, celui de favoriser par la production de courants ascensionnels dans leur intérieur, une diffusion uniforme de température dans la chaudière, dont l'eau, sans cela, tend à rester froide dans les parties inférieures.

« On ne doit, toutefois, pas perdre de vue que la partie du tube intérieur dans laquelle se trouve le foyer n'étant pourvue d'aucune tubulure Galloway, cette partie doit être, le cas échéant, consolidée par l'un des moyens enseignés ci-dessus.

« Enfin, eu égard au danger que crée l'aplatissement initial même faible des tubes, il convient de les visiter soigneusement à chaque nettoyage de la chaudière, afin de vérifier si aucune déformation ne s'est produite, pendant le fonctionnement, depuis la dernière mise à feu.

« *L'ingénieur des mines,*	*L'inspecteur général des mines,*
secrétaire,	*président,*
HENRI WITMEUR.	F. JOCHAMS. »

PRODUCTION CONTEMPORAINE DU SOUFRE NATIF DANS LE SOUS-SOL DE PARIS

Par M. DAUBRÉE, inspecteur général des mines.

Les travaux qui viennent d'être exécutés à Paris, dans le sol de la place de la République, ont recoupé des amas de débris très variés, au milieu desquels abonde du soufre natif. Celui-ci se présente en enduits facilement reconnaissables à leur couleur jaune, dans toutes les fissures des plâtras.

A l'œil nu, on voit qu'il est cristallisé, et la loupe permet d'y reconnaître très nettement des octaèdres ayant les formes les plus fréquentes dans les cristaux de la nature ; ils sont mesurables et en ont les angles. Ils présentent l'octaèdre b^1 avec des troncatures sur les arêtes et combiné au prisme droit, ainsi qu'à un octaèdre plus aigu $b^{1/2}$ faisant pointement.

L'origine de cette substance, parfaitement indépendante des

émanations du gaz d'éclairage, se rattache évidemment à la présence simultanée du sulfate de chaux des plâtras et de matières organiques, débris végétaux, fumier, cuir, fragments d'os, boues, qui lui sont associées. Quant à la réunion de ces matériaux si divers, ils proviennent du remblayage de l'ancien fossé d'enceinte de la ville, opéré il y a deux siècles (*), à peu près à l'endroit où coulait le ruisseau de Ménilmontant. C'est un nouvel exemple du fait déjà signalé, lors de la démolition, en 1778, de la porte Saint-Antoine (**), et l'on peut s'étonner que depuis lors, malgré les innombrables travaux dont le sol de Paris a été le théâtre, l'attention n'ait pas été appelée quelquefois sur des découvertes analogues. Rarement aussi les matières organiques sont si abondamment mélangées aux gravois de plâtre.

Pour le cas présent, on saura gré à M. Bonne, conducteur des ponts et chaussées, chargé des travaux municipaux, d'avoir reconnu l'intérêt de cette production contemporaine, et je saisis cette occasion de le remercier de son obligeance. D'après son témoignage, le soufre se retrouve dans la région sud-est de la place, dans toute la portion qui a été entaillée, c'est-à-dire à partir de $0^m,2$ ou $0^m,3$ de la surface jusqu'à la profondeur de 3 mètres, qu'on n'a pas dépassée, et sur une surface de 50 mètres sur 15 à 20^m. Ce n'est donc pas un accident restreint, mais une sorte de gîte de soufre. D'ailleurs, la teneur des échantillons recueillis en ferait un minerai industriellement exploitable, qui est analogue aussi pour l'aspect à des échantillons de la Sicile et d'autres contrées. Il consiste, en effet, en une brèche à menus fragments, incrustés de soufre cristallisé, qui contribue à les cimenter les uns aux autres. Du soufre cristallisé s'est produit aussi entre les fibres de débris de bois. Dans une partie noire et charbonneuse comparable à une argile tourbeuse, se présentent des petites efflorescences blanches consistant, d'après l'examen qui en a été fait au Bureau d'essais de l'École des Mines, en carbonate de chaux mélangé de sulfate de chaux.

Au moment où cette couche a été ouverte, elle exhalait une forte odeur qu'on a comparée à celle du phosphore, et attribuée à un dégagement d'hydrogène phosphoré.

On ne peut douter que cette production de soufre ne soit une imitation contemporaine de celle qui a donné naissance à beau-

(*) C'est en vertu d'un arrêt du 7 juin 1670 que l'on a commencé à combler les anciens fossés, pour former le nouveau rempart qui est devenu le boulevard Saint-Martin.

(**) Haüy, *Traité de minéralogie*, t. IV, p. 413.

coup de gisements de soufre, appartenant aux terrains stratifiés.

Il est des cas où le soufre résulte d'injections d'hydrogène sulfuré provenant de réservoirs profonds qui, en outre, ont formé du sulfate de chaux aux dépens des roches calcaires; mais souvent aussi, et par suite d'une réaction inverse, le soufre résulte de la réaction mutuelle du sulfate de chaux préalablement stratifié et de matières charbonneuses, lignite ou bitume, dont une partie subsiste encore.

(*Extrait des* Comptes rendus de l'Académie des Sciences, *séance du* 17 *janvier* 1881.)

STATISTIQUE DE LA PRODUCTION DE L'ANTHRACITE EN PENSYLVANIE.

Les mines d'anthracite de la Pensylvanie sont exploitées dans les trois bassins de Schuylkill, de Wyoming et de Lehigh. La production pendant l'année fiscale 1879, c'est-à-dire du 1er juillet 1878 au 30 juin suivant, a été la suivante :

	tonnes
Bassin de Wyoming	12.588.793
— de Schuylkill	8.960.329
— de Lehigh	4.593.567
Production totale	26.142.689

Le développement de l'exploitation, qui a pris naissance en 1820, est indiqué par le tableau ci-dessous, qui donne la production totale annuelle jusqu'en 1879 :

ANNÉES.	TONNES.	ANNÉES.	TONNES.	ANNÉES.	TONNES.
1820	365	1840	864.384	1860	8.513.123
1821	1.073	1841	959.973	1861	7.954.314
1822	3.720	1842	1.108.418	1862	7.875.412
1823	6.951	1843	1.263.598	1863	9.566.006
1824	11.108	1844	1.630.850	1864	10.177.475
1825	34.893	1845	2.013.013	1865	9.652.391
1826	48.047	1846	2.344.005	1866	12.703.882
1827	63.434	1847	2.882.309	1867	12.991.725
1828	77.516	1848	3.089.238	1868	13.834.132
1829	112.083	1849	3.242.966	1869	13.723 030
1830	174.734	1850	3.358.899	1870	15.849.899
1831	176.820	1851	4.448.916	1871	15.113.407
1832	363.871	1852	4.993.471	1872	19.026.125
1833	487.748	1853	5.195.151	1873	19.585.178
1834	376.636	1854	6.002.334	1874	18.980.726
1835	560.758	1855	6.608.517	1875	19.712.472
1836	684.117	1856	6.927.580	1876	18.501.311
1837	879.441	1857	6.664.941	1877	20.828.179
1838	738.697	1858	6.759.369	1878	17.605.262
1839	818.402	1859	7.808.252	1879	26.142.689

Il est en outre représenté, Pl. XIII, *fig.* 11, par un diagramme intéressant, dressé par MM. Sheafer, ingénieurs à Pottsville, et communiqué obligeamment par M. Hayden.

Ce diagramme est disposé d'une manière originale : la courbe indicatrice de la production est tracée deux fois, d'un côté et de l'autre de l'axe suivant lequel se comptent les années ; et cette disposition, qui a le seul inconvénient d'exiger le double d'espace, produit une figure très expressive.

On remarquera qu'à partir de 1872 l'extraction a cessé de progresser, phénomène commun aux houillères du monde entier ; mais qu'elle a repris en 1879 sa marche en avant et a reçu une extension considérable, l'augmentation, dans l'espace de cette seule année, n'ayant pas été moindre de 8.500.000 tonnes.

Une coupe verticale du terrain anthracifère, prise dans le bassin de Schuylkill (qui était le plus important des trois bassins de Pensylvanie jusqu'en 1866), est donnée par les mêmes auteurs et reproduite, Pl. XIII, *fig.* 12. Il en résulte qu'on y exploite seize couches de charbon, d'une épaisseur totale d'environ 36 mètres (107 pieds), dont les plus minces ont 1 mètre et la plus forte, la célèbre couche Mammouth, un peu plus de 8 mètres de puissance.

O. K.

PRODUCTION MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1879.

Les données statistiques recueillies à l'occasion de l'Exposition nationale de Bruxelles permettent de déterminer assez exactement quelle était, à la fin de l'année dernière, la situation de l'industrie minérale en Belgique.

Pour les houilles, l'extraction a été, en 1879, en tonnes de 1.000 kilog. :

	tonnes.
Dans le Hainaut, de	11.448.531
Dans la province de Liège, de.	3.581.305
— — de Namur, de.	417.456
Soit en tout.	15.447 292

représentant une valeur de 144.995.000 francs et le travail de 97.714 ouvriers.

Ces chiffres ont souvent été dépassés comme valeur, en raison surtout du prix peu élevé auquel les charbons se sont vendus récemment, mais, sauf en 1872 et en 1873, les quantités extraites n'avaient jamais été aussi considérables.

Depuis 1830 les charbonnages ont donné en ce pays un total de 264.991.521 tonnes de charbon évaluées à 4.000.618.000 francs.

Si l'on se reporte aux résultats constatés ci-après pour les périodes décennales, on verra quelle a été, pendant les cinquante dernières années, la progression suivie par l'industrie houillère en Belgique.

PÉRIODES décennales.	PRODUCTION.	VALEUR.	NOMBRE MOYEN des ouvriers.
	tonnes.	francs.	
1830-1839	27.803.614	500.937 000	30.980
1840-1849	46.262.252	430.450.000	41.928
1850-1859	77.061.855	811.814 000	63.400
1860-1869	113.730.089	1.240.136.000	84.913
1870-1879	131.863.810	1.814.281.000	102.027

L'exploitation de la houille s'est faite, en 1879, dans 291 sièges d'extraction, à une profondeur moyenne de 361 mètres, et a nécessité l'emploi de 1871 machines, savoir :

482	machines d'extraction	de la force	de. . . .	51.350 chevaux
194	— d'épuisement	—	de. . . .	32.440 —
372	— d'aérage	—	de. . . .	13.360 —
823	— d'usages divers	—	de. . . .	9 745 —

Quelques-unes de ces machines, surtout de celles qui sont destinées à la ventilation et à l'asséchement des travaux, peuvent passer pour être les plus perfectionnées dont dispose aujourd'hui l'industrie.

En ce qui concerne les mines métalliques, qui occupaient 5.638 ouvriers, la production a été l'an dernier :

	tonnes.			francs.
En blende, de	23.229	évaluées	à. .	1.376.000
En calamine	17.098	—	à. .	769.000
En galène.	9.384	—	à. .	1.087.000
En pyrite	15.577	—	à. .	324.000
En minerais de fer lavés. .	191.512	—	à. .	1.558.000
Total.	256.800			5.114.000

Pour cette dernière classe de produits, les extractions représentent depuis 1840 une somme de 398.072.000 francs.

Il y a toutefois de ce côté un certain ralentissement à constater. Quelques gisements ont été épuisés; les frais se sont accrus par l'augmentation de profondeur à laquelle on a dû travailler, et les exploitants, qui avaient déjà souffert de la concurrence des minerais de l'étranger, plus particulièrement des minettes de Luxembourg, ont eu, par surcroît, à supporter la lourde crise industrielle de ces dernières années.

Les carrières ont donné, en 1879, du travail à 26.822 ouvriers et fourni pour 39.049.000 francs de matériaux de construction.

En réunissant ensemble les chiffres qui viennent d'être cités on arrive, pour l'ensemble de la production minérale de la Belgique en 1879, à un total de 189.148.000 francs de produits, obtenus par 127.713 ouvriers.

Si on laisse de côté les usines dans lesquelles on façonne les métaux, la métallurgie proprement dite, c'est-à-dire la partie de l'industrie qui s'occupe exclusivement de l'élaboration des minerais a, d'autre part, employé, l'an dernier, 20.600 ouvriers et donné :

	tonnes.		francs.
	453.371	de fonte représentant une valeur de. .	24.982.000
	493.409	de fer — — de. .	70.128.000
	82.867	de zinc — — de. .	33.985.000
	7.961	de plomb — — de. .	2.809.000
Soit un total de	1.047.608	et.	131.904.000

La somme des mêmes métaux produite par l'ensemble du pays pendant la dernière période décennale, c'est-à-dire de 1870 à 1879, s'est élevée à 11.192.736 tonnes et 1.819.964.000 francs.

(*Extrait d'un rapport adressé par* M. E. Bouillat, *consul de France à Anvers, à M. le ministre des affaires étrangères.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

ERRATA et ADDENDA.

Pages 59 à 101. Rapport de M. Heurteau, *passim*, *au lieu de* enclanchements, enclancher, *lire* enclenchements, enclencher.

Page 121. Notice sur les mines d'anthracite de la Mure, *ajouter en note* : Cette notice est la reproduction par extraits textuels, pour la plus grande partie (pages 121 à 142), d'un ouvrage de MM. Henri Giroud et Etienne Rolland : « *Guide du chef mineur à l'usage des exploitants du bassin anthraxifère du canton de la Mure.* Grenoble, 1859. »

Page 147, ligne 27, *au lieu de* 9 p. 100, *lire* 90 p. 100.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

. I et II. — Constitution géologique de l'isthme de Panama

Pl. III et IV. — Appareils d'enclenchement.

Pl. V, *fig.* 1. — Captage de la source du Lac, à Enghien.

Pl. V, *fig.* 2 à 21. — Mines d'anthracite de La Mure.

Pl. VI, *fig.* 1. — Carte provisoire de la région explorée par la mission transsaharienne.

Pl. VI, *fig.* 2 à 4. — Houillères de Rochebelle; accident du puits Fontanes.

Pl. VII, VIII et IX. — Frein à embrayage électrique de M. Achard et frein pneumatique de M. Smith.

Pl. X, XI et XII, *fig.* 1 à 3. — Signaux électriques dits « Cloches autrichiennes ».

Pl. XII, *fig.* 4 à 6. — Cristaux épigènes de cuivre natif de Coro-Coro.

Pl. XIII, *fig.* 1 et 2. — Explosion d'une chaudière à vapeur, système Rastrick, dans une forge à Walsall.

Pl. XIII, *fig.* 3 à 6. — Explosion d'une chaudière à vapeur dans une usine à Roanne.

Pl. XIII, *fig.* 7 à 10. — Modes de consolidation des tubes et foyers intérieurs de chaudières à vapeur.

Pl. XIII, *fig.* 11 et 12. — Production de l'anthracite en Pensylvanie.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1880.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

Flammarion (C.). — Astronomie populaire. Description générale du ciel, illustrée de 360 fig., planches en chromolithographie, cartes célestes, etc. 2 vol. gr. in-8°, 846 p. Paris. (8430)

Launoy. — De l'ellipse, de l'hyperbole, de la parabole et de leurs propriétés. In-8°, 76 p. avec 33 fig. (10634)

Lebon (E.). — Traité de géométrie descriptive pour l'enseignement secondaire classique. T. 1er, à l'usage des classes de mathématiques élémentaires. In-8°, VII-1216 p. avec 233 fig. (10859)

Lecerf (H.). — Preuves par neuf et par onze, ou Procédés simples et faciles pour effectuer promptement la preuve des quatre opérations de l'arithmétique : addition, soustraction, multiplication et division, et, par extension, de l'élévation aux puissances et de l'extraction des racines. In-8°, 28 p. (10370)

Lecornu (L.), ingénieur des mines. — Sur l'équilibre des surfaces flexibles et inextensibles. In-4°, 111 p. (11190)

Lefébure (A.). — Mémoire sur les résidus des puissances n des nombres déterminés par les diviseurs premiers de la forme $2kn+1$ et sur la résolution de l'équation $x^n+y^n=z^n$ en nombres entiers pour n plus grand que 2. In-8°, 80 p. (9512)

Mannheim (A.), professeur à l'École polytechnique. — Cours de géométrie descriptive de l'École polytechnique, comprenant les éléments de la géométrie cinématique. In-8°, XIX-460 p. avec 249 fig. 17 fr. (10876)

PLANCHET (P.). — Notes explicatives pour la pendule géocosmographique universelle. In-18, 24 p. (11266)

PROMPT. — Théorie mathématique des abordages. In-8°, 9 p. avec 3 fig. (7145)

TOUCHE, chef d'escadron d'artillerie. — De la résistance de l'air aux projectiles oblongs. In-8°, 16 p. 50 cent. (Extr. du *Journal des sciences militaires.*) (7071)

2° *Chimie. — Physique.*

ANDRÉ (C.), directeur de l'Observatoire, secrétaire de la commission départementale de météréologie. — Etude sur les orages à grêle du département du Rhône (1819-1878). In-8°, 14 p. et carte (8902)

ANGOT (A.). — Traité de physique élémentaire. In-8°, 759 p. avec 486 fig. 8 fr. (10022)

CARLES (P.). — Influence exercée sur les réactions chimiques par les agents physiques autres que la chaleur. In-4°, 148 p. (7828)

CHAPUIS (A.), maître de conférences à la faculté mixte de médecine et de pharmacie de Lyon, agrégé. — Rôle chimique des ferments figurés. In-4°, 170 p. (9742)

CHARPENTIER (P.). — Nouvelles méthodes d'analyse volumétrique pour le dosage rapide de l'argent, du mercure et de l'azote. In-8°, 11 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (8093)

CLERMONT (P. de), sous-directeur du laboratoire de chimie de la Sorbonne. — De l'action des sels ammoniacaux sur quelques sulfures métalliques et de l'application de faits observés à l'analyse. In-8°, 5 p. (*Ass. fr. pour l'av. des sciences; Congrès de Montpellier*). (7838)

CORNU (A.), professeur de physique à l'École polytechnique. — Les Instruments de précision à l'Exposition universelle internationale de 1878, à Paris. In-8°, 24 p. (8394)

GARRIGOU. — Des sources minérales mercurielles de la France. Analyse des eaux minérales. In-8°, 4 p. (7264)

GORUP-BESANEZ, professeur de chimie et directeur du laboratoire de l'Université d'Erlangen. — Traité de chimie physiologique. Traduit de l'allemand sur la 4e édition et annoté par F. Schlagdenhauffen, professeur à l'école supérieure de pharmacie, agrégé à la Faculté de médecine de Nancy. 2 vol. in-8°, VIII-1345 p. 52 fr. (9462)

GOURVAT (A. P.), agrégé. — Des méthodes générales de transformation des corps organiques. In-4°, 38 p. (7115)

GROS (C.). — Télégraphe hydrostatique. Lettre à M. le ministre des travaux publics. In-8°, 13 p. (7486)

GUEBHARD (A.). — Nouveau procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés d'interférence. In-8°, 11 p. avec fig. (8146)

GUILLEMIN (A.). — Le Monde physique. T. 1. Première partie : la Pesanteur et la Gravitation universelle. Deuxième partie : le Son. Livraison 1. Gr. in-8°, XVI p. avec fig. (6033)

JOLLY (L.). — Distribution des phosphates dans les différents tissus. In-8°, 8 p. (Extr. de la *France médicale*.) (7294)

JOULIN (L.), maître de conférences à la Faculté des sciences de Toulouse. — Recherches sur la diffusion dans ses rapports avec la respiration des êtres organisés (premier Mémoire). In-8°, 39 p. avec planches et tableaux. (11169)

LACOTE (A.). — Synthèse des corps azotés. In-8°, 101 p. (8995)

LALLEMAND (C.), ingénieur des mines. — Note sur la préparation des sels d'urane et de vanadium à Joachimsthal (Bohême septentrionale). In-8°, 24 p. (Extr. des *Annales des mines*.) (8759)

Le BON (G.), président de la Société de médecine pratique de Paris. — La fumée du tabac, recherches chimiques et physiologiques : 2ᵉ *édition*, augmentée de recherches nouvelles sur le dosage de l'acide prussique et de l'oxyde de carbone dans la fumée du tabac et sur la détermination des principes qui lui donnent son parfum. In-8°, 71 p. (6802)

LEBLANC (R.). — Manipulations de chimie, leçons pratiques à l'usage des élèves des établissements d'enseignement spécial, professionnel, etc. In-12, 124 p. 1 fr. 50. (12000)

LIVON (C.), professeur suppléant au laboratoire de physiologie de l'École de médecine de Marseille. — De l'action physiologique de l'acide salicylique et du salicylate de soude sur la respiration. In-8°, 13 p. (11201)

LUNGE (G.) et J. NAVILLE. — La grande industrie chimique. Traité de la fabrication de la soude et de ses branches collatérales. Édition française ; par M. Lunge, professeur de chimie industrielle à l'École polytechnique de Zurich, et J. Naville, manufacturier. T. 2. Sulfate de soude ; Acide chlorhydrique ; Soude brute. In-8°, 451 p. avec 195 fig. et 6 planches. (8201)

MARCHEGAY (A.), ingénieur civil des mines. — Le téléphone et ses applications ; lu à la Société des sciences industrielles de Lyon. (11210)

MOISSAN (H.), maître de conférences à l'École supérieure de pharmacie. — Sur les oxydes métalliques de la famille du fer. In-4°, 59 p. (8225)

MOLLINS (J. de). — Note sur un nouveau mode de génération de l'ammoniaque et sur le dosage de l'acide nitrique. In-8°, 7 p. (12022)

MORGES (F.), chef des travaux chimiques à l'École des hautes études de Marseille. — Recherches sur la constitution des sels doubles et sur leur électrolyse thermique. In-4°, 59 p. (9563)

NIVET. — Étude sur la double décomposition des sels ammoniacaux en présence du carbonate de chaux. In-8°, 17 p. (Extr. des *Ann. de l'Institut nation. agronomique*). (11770)

OZIL (P. F. S). — Étude bibliographique et clinique du nitrite d'amyle. In-4°, 162 p. (8811)

PIFRE (A.). — Visite des ingénieurs des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Les récepteurs solaires. In-8°, 16 p. (9935)

PISANI (F.). — Traité pratique d'analyse chimique qualitative et quantitative à l'usage des laboratoires de chimie. In-18 jésus, VIII-309 p. 3f,50. (9289)

PLASSIARD (J. A.), ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite. — Des cordes harmoniques en général et spécialement de celles des instruments à archet. In-4°, 44 p. (8253)

PRUNIER (L.), agrégé. — Parallèle entre les phénomènes chimiques dans les végétaux et dans les animaux. In-4°, 103 p. (8650)

THOULET (J.), préparateur au Collège de France. — Contributions à l'étude des propriétés physiques et chimiques des minéraux microscopiques. In-4°, 77. (5929)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

BAGUENAUD. (C.). — La Suède et l'industrie métallurgique. In-8°, 27 p. (8060)

BRONGNIART (A.), professeur au Muséum d'histoire naturelle. — Recherches sur les graines fossiles silicifiées. Précédé d'une notice sur ses travaux, ; par J. B. Dumas. Grand in-4°, XIV-93 p. avec 21 pl. et portrait. (11595)

BURAT (A.), professeur à l'École centrale des arts et manufactures. — Supplément au cours d'exploitation des mines, donnant la description et les figures des appareils nouveaux de 1876, 1877, 1878, 1879 et 1880. In-8°, p. 641 à 737 et atlas supplémentaire renfermant les planches 131 à 138. (12180)

GAUTHIER (C.). — Description de deux lacs de la région du Caucase riches en sulfate de soude. In-8°, 16 p. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (10587)

GONNARD (F.), ingénieur des arts et manufactures. — Note sur les associations minérales que renferment certains trachytes du ravin du Riveau-Grand, au Mont-Dore. In-8°, 18 p. (7480)

HARDY (E.), chef des travaux chimiques de l'Académie de médecine, et MAUREL (E.), médecin de la marine. — Mémoire sur l'hydrologie de la Guyane française. In-8°, 23 p. (8151)

HOLLANDE (D.). — Les Terrains jurassiques supérieurs et les Terrains crétacés inférieurs aux environs de Chambéry. In-8°, 57 p. (10357)

LORIOL (P. de). — Les Crinoïdes fossiles de la Suisse. In-8°, 10 p. (*Ass. fr. p. l'av. des sciences; Congrès de Montpellier.*) (8495)

POURCEL (A.), ingénieur, chef de service des aciéries de Terre-Noire. Note sur la déphosphoration au convertisseur Bessemer basique, lue le 6 mars 1880 à la Société de l'industrie minérale. In-8°, 20 p. (6411)

4° *Mécanique. — Exploitation des mines.*

ANTOINE (C.), ingénieur de la marine. — Calculs des propulseurs hélicoïdaux. — In-8°, 33 p. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale.*) (8329)

BARBA (J.), ingénieur principal des usines du Creuzot. — Études sur la résistance des matériaux. Expériences à la traction. In-8°, 35 p. et 2 pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (8065)

BARBIER (H. G.), capitaine d'artillerie. — Le marteau-pilon de quatre-vingts tonnes des usines de Saint-Chamond. In-8°, 8 p. et planche. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (5650)

BERTIN (L. E.), ingénieur des constructions navales. — Données théoriques et expérimentales sur les vagues et le roulis (suite). In-8°, p. 277 à 343 et pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. nat. des sc. nat. et math. de Cherbourg.*) (6717)

BONNAFOUS. — Rapport sur l'Exposition de 1878, sur ce qui intéresse la corporation des chauffeurs-conducteurs-mécaniciens, tels que charbons, chaudières, machines à vapeur, etc. In-32, 124 p. (8921)

COLLIGNON (E.), inspecteur des études à l'École des ponts et chaussées. — Cours de mécanique appliquée aux constructions. Deuxième partie : Hydraulique; 2° *édition*, revue et augmentée. In-8°, VI-724 p. avec 259 fig. 13 fr. (8389)

DONNAY. — Visites des ingénieurs des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Machines à travailler les métaux. In-8°, 27 p. (Extr. des *Annales industrielles.*) (9774)

HAUVEL (C.), ingénieur des arts et manufactures. — Notice sur le surchauffeur différentiel. In-8°, 40 p. (7277)

KEDLER, LUDWIG et WALTHER-MEUNIER. — Chaudières et moteurs à vapeur à l'Exposition de 1878. Rapport fait à la Société industrielle de Mulhouse. In-8°, 32 p. et 5 pl. 3f,50. (9842)

UHLAND (W. H.). — Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur-mécanicien. Traduit de l'allemand et annoté par MM. C. de Laharpe, L. Faucon, H. Wolff, ingénieurs des arts et manufactures. In-18 jésus, VIII-273 p. avec fig. (1881.) (9662)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BADOIS (E.). — Note sur les conditions de construction et d'exploitation d'un réseau de chemins de fer économiques à voie étroite dans le département du Cher, soumise au conseil général en août 1880. In-8°, 22 p. (8339)

BAUM (C.), ingénieur des ponts et chaussées. — Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemin de fer. In-8°, 128 p. Extr. des *Annales des ponts et chaussées.*) (8343)

BLAVIER, président de la Société industrielle et agricole d'Angers et de Maine-et-Loire. — La Question du rachat des chemins de fer par l'Etat. In-8°, 14 planches. (9712)

BOURDAIS et MOUCHELET. — Visites des ingénieurs des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Visite au palais du Trocadéro. In-8°, 22 p. et grav. (Extr. des *Annales industrielles.*) (9723)

CAZENEUVE (A.). — Les Chemins de fer à l'Exposition universelle; 3e série. Sections étrangères. In-8°, 119 p. avec tableaux. (8934)

CHOPPARD (L.). — Des chemins de fer industriels. In-8°, 60 p. 2 fr. (Extr. de la *Revue gén. d'administration.*) (7836)

CLERC (A.), ingénieur des manufactures. — Mémoire sur une nouvelle théorie de résistance des poutres. In-8°, 40 p. et planches. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (8942)

FORQUENOT. — Visites des ingénieurs des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Les Locomotives. (98015)

GOSCHLER (C.). — Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par Ch. Goschler, ancien ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est. T. IV. Service de la locomotion. Deuxième section : Traction. In-8°, LXXX-500 pages avec figures. (10592)

JACQMIN (F.), directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est.

— Le Matériel des chemins de fer à l'Exposition universelle de 1878 à Paris. In-8°, 328 p. (6321)

LACOU (J.). — Tramways et chemins de fer sur routes, système à un et deux rails avec voie étroite. In-8°, 26 p. avec cartes et plans. (7699)

NOACK-DOLLFUS. — Note sur l'utilisation des cendres et des crasses de houille dans la confection d'une maçonnerie économique dite pisé de machefer. In-8°, 22 p. 1f,25. (11771)

PARANDIER, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. — Chemins, routes et tramways dans les montagnes frontières. In-8°, 28 p. et carte. 1f,50. (8237)

PLANAT (P.). — Cours de construction civile. Première partie : Chauffage et ventilation des lieux habités. Grand in-8°, 616 pages avec fig. (10188)

PONTZEN (E.). — Chemin de fer de l'Arlberg. In-8°, 16 p. et planches. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (7020)

REVUE générale des chemins de fer, publiée sous le patronage et avec la collaboration de MM. Banderali, Chauffard, Heurteau, Level, J. Martin, H. Mathieu, J. Michel, J. Morandière, Regray-Sartiaux.

SEYRIG. — Note sur quelques cas spéciaux de montage des ponts métalliques, In-8°, 9 p. et pl. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils.*) (8872)

6° *Sujets divers.*

AUCOC (L.) de l'Institut. — Les Tarifs des chemins de fer et l'autorité de l'État. In-8°, 45 p. (Extr. du *Compte rendu de l'Acad. des sc. mor. et politiques.*) (10743)

BOIQUAND (E). — Le Matériel et les Procédés de la couture et de la confection des vêtements à l'Exposition universelle de 1878 à Paris. In-8°, 43 p. (6168)

BARRAL (J. A.), secrétaire perpétuel de la Société nationale d'agriculture. — Sur les irrigations. In-8°, 38 p. avec fig. (*Ass. fr. p. l'av. des ciences; Congrès de Montpellier.*) (9696)

COLONIEU (général). — Le Tracé central du chemin de fer transsaharien. In-8°, 23 p. et carte. (5701)

DURAND-CLAYE (A.), ingénieur des ponts et chaussées. — Le Matériel et les Procédés des industries agricoles et forestières à l'Exposition universelle de 1878, à Paris. In-8°, 398 p. et atlas in-4° de 62 pl. (9204)

Exposition universelle à Melbourne en 1880. France.—Notices sur

les dessins, modèles et ouvrages relatifs aux services des ponts et chaussées, des mines, des bâtiments civils et palais nationaux, réunis par les soins du ministère des travaux publics. In-8° IV-693 p. avec vign. (7255)

FABRE (J. H.). — Les Inventeurs et leurs inventions, histoire élémentaire des principales découvertes dans l'ordre des sciences physiques. In-8°, 535 p. avec fig. (11652)

FERRAN. — La Médecine nouvelle, médecine des antiferments et ses résultats hors ligne. (11949)

GILBERT (F. H.), de l'Institut et de la Société d'agriculture de Paris. — Recherches sur les moyens d'étendre et de perfectionner la culture des prairies artificielles en Picardie. Mémoire couronné en 1787 par l'Académie d'Amiens, et publié avec une introduction par Ch. Dufour, de la Société des agriculteurs de France. In-16, XXXV-159 p. (5765)

GRANJON-ROZET, médecin de la marine. — Étude sur l'étiologie des accidents observés chez les hommes travaillant dans l'air comprimé. In-4°, 61 p. (8144)

GRAS (J.). — Notice sur un parleur-avertisseur présenté. In-8°, 84 p. avec fig. (9815)

JANNETAZ (E.), E. FONTENAY, E. VANDERHEYM et A. COUTANCE. — Diamant et pierres précieuses: Cristallographie, descriptions, emplois, évaluation, commerce, bijoux, joyaux, orfèvreries, au point de vue de leur histoire et de leur travail. In-8°, XII-580 p. avec 350 vign. et une pl. en couleur, (1881.) 20 fr. (7905)

L'HUILLIER. — De l'application des lois de l'acoustique à l'étude des maladies du cœur chez les gens bien portants ou qui paraissent l'être. — In-8°, IV-116 p. (7316)

MAIGNE. — Nouveau Manuel complet du fabricant d'objets en caoutchouc, gutta-percha, gomme factice, toile et taffetas cirés, suivi de l'Imperméabilisation des étoffes, papiers, cuirs, etc.; 2 vol. in-18, 528 p. (8203)

MEUNIER (S.). — Les Projections lumineuses et l'Enseignement primaire. Conférence faite le 30 mars 1880. (7005)

MONTROUGÉ (A. de). — L'Electro-phylloxéricide, exposé théorique et descriptif, avec croquis sur ce nouveau procédé de destruction du phylloxera par l'emploi de moyens et appareils électrochimiques. In-8°, 39 p. 2f,50. (7537)

Note sur la nitro-glycérine et la dynamite, sur la loi du 8 mars 1875 et sur la nécessité de modifier cette loi. In-8°, 24 pages. (10906)

PERRIER et BASSOT. — Détermination télégraphique des différences

de longitude entre Alger et Biskra, Alger et Laghouat. In-4°, 127 p. et 3 pl. (9922)

Poiré (P.). — La France industrielle, ou Description des industries françaises. In-8°, XI-712 p. avec 422 fig. 10 fr. (9290)

Robinet (G.), docteur en médecine. — Sur les prétendus dangers présentés par les cimetières en général et par les cimetières de Paris en particulier. In-4°, 123 p. (8568)

Sabrepont (H. de). — Art militaire sous-aquatique. Les Torpilles. In-8°, VII-574 p. avec 183 fig. (5914)

Saffray (Mme B. de). — Les Sculptures de l'Italie à l'Exposition universelle de 1878 (vers). In-18, 35 p. (7359)

OUVRAGES BELGES.

Mourlon. Géologie de la Belgique. Bruxelles. In-8°, t. I, 317 p. 15 fr.

Ubaghs. Description géologique et paléontologique du sol du Limbourg, avec catalogue général des fossiles du terrain crétacé; coupe de la superposition des couches et description de quelques grands vertébrés de la craie supérieure de Maëstricht. Roermonde. In-8°, II-275 p., avec 7 pl. 10 fr.

OUVRAGES ANGLAIS.

Cresy. *An encyclopædia*... Encyclopédie de l'ingénieur civil. Nouv. édition. In-8°, 1.764 p. 31f,25.

Orlander. *A new method*... Nouvelle méthode d'étude graphique appliquée à la construction des poutres en fer. Vol. I. In-8°. 31f,25.

Parliamentary. — Railway returns... Rapports sur les chemins de fer pour 1879. 0f,65.

—— *Railways : continuous brakes*... Chemins de fer : freins continus. Rapports pour le 1er semestre 1880. 0,f95.

Boole. *A treatise*... Traité du calcul des différences finies. 3e édition. In-8°. 13f,15.

Armstrong. *Introduction*... Introduction à l'étude de la chimie organique. 2e édition. In-12, 340 p. 4f,40.

Dawson. *The chain of life*... La chaîne de la vie dans les temps géologiques; esquisse de l'origine et de la succession des animaux et des plantes. In-8°. 8f,15.

Miller. *Elements of chemistry*... Éléments de chimie théorique et pratique. Part. 3, sect. 1. 5e édition. In-8°, 1.068 p. 39f,40.

Cock. *A treatise*... Traité technique et pratique sur la nature, la production et les usages du kaolin. In-8°, 144 p. 6f,25.

Spretson. *Practical treatise*... Traité pratique de la fonte et du moulage. 2e édit. In-8°, 424 p. 22f,50.

Mill. *Introductory reader*... Introduction à la géologie. In-8°, 290 p. 3f,15.

Bale. *How to manage*... Manière de conduire une machine à vapeur. In-8°, 100 p. 2f,50.

Rankine. *A manual of civil*... Manuel de l'ingénieur civil. 13e édit., revue par *W. J. Millar*. In-8°, 820 p. 20 fr.

Mineral statistics... Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni pour 1879, par *Robert Hunt*. In-8°. 2f,50.

Fleming. *Index to our railway*... Index de notre système de chemins de fer et de nos lignes principales. 4e numéro. In-8°, 116 p. 3f,15.

Evers. *Steam and steam engine*... La vapeur et la machine à vapeur: machines fixes, machines marines et locomotives. Nouvelle édition. In-8°. 7f,50.

Thorpe. *The book*... Traité de mécanique. Part. 1 : statique. In-8°, 128 p. 1f,90

Ayrton and Perry. *Contact theory*... Théorie du contact de l'action voltaïque. N° 3. In-4°, 20 p. 5 fr. (Extr. des *Philosophical Transactions*.)

Compton. *The electric light*... L'éclairage électrique pour les usages industriels. In-8°, 41 p. 1f,25.

W. de la Rue and Müller. *Experimental researches*... Recherches expérimentales sur la décharge électrique avec la batterie au chlorure d'argent. Part. 3. In-4°, 50 p. 11f,25.

M'Leod and Clarke. *Determination of the rate*... Détermination de la loi de vibration des diapasons. In-4°, 14 p. 11f,15. (Extr. des *Philosophical Transactions*.)

Niven. *Conduction of heat*... Propagation de la chaleur dans des ellipsoïdes de révolutions. In-4°, 34 p. 3f,75. (Extr. du même recueil).

Davies. *A treatise*... Traité des minéraux métallifères et de leur exploitation. 2e édit., revue. In-8°, 450 p. 15f,65.

—— *A treatise*... Traité de l'ardoise et de son exploitation. 5e édit., revue. In-12, 190 p. 3f,75.

Explanatory memoir... Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 54 et la portion S.-O. de la feuille 42 de la carte géolo-

gique de l'Irlande; parties des comtés de Sligo et de Mayo. In-8°. 3f,75.

Memoirs of the Geological Survey... Angleterre et pays de Galles. Géologie des environs de Nottingham; feuille 71 N.-E., avec des portions des feuilles 71 S.-E. et S.-O.; par *W. Talbot Aveline*. 2e édit. In-8°. 1f,25.

TODHUNTER. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de la théorie des équations. 4e édit. In-8°, 320 p. 9f,40.

WILLIAMSON. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de calcul intégral. 3e édit., revue et augmentée. In-8°. 13f,15.

GEIKIE. *Prehistoric Europe...* L'Europe préhistorique, esquisse géologique. In-8°, 598 p. 31f,25.

HALL. *The coal fields...* Les bassins houillers de la Grande-Bretagne. 4e édit., revue. In-8°, 560 p. 20 fr.

LUNGE. *A theoretical...* Traité théorique et pratique de la fabrication de l'acide sulfurique et des alcalis. T. III. In-8°. 30 fr.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

HAYDEN. *Eleventh annual report...* Onzième rapport annuel de l'exploration géologique et géographique des territoires des États-Unis, comprenant l'Idaho et le Wyoming; rapport sur les progrès de l'exploration pour 1877. Washington. In-8°, 720 p. 26f,25.

FORSETT. *Colorado...* Le Colorado; ses mines d'or et d'argent. New-York. 2e édit., VIII-592 p. 12f,50.

POOR. *Manual of the railroads...* Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1880. Nouvelle édition revue et augmentée In-8°. 35 fr.

DOUGLAS and PRESCOTT. *Qualitative chemical...* Analyse chimique qualitative. 3e édit. New-York. In-8°, 306 p. 22f,50.

DANA. *Manual of geology...* Manuel de géologie; histoire géologique de l'Amérique. 10e édit. In-8°, 925 p. 26f,25.

CAIRNS. *A manual...* Manuel d'analyse chimique quantitative. New-York. In-8°, VIII-270 p. 15 fr.

WHITNEY. *The auriferous gravels...* Les graviers aurifères de la Sierra-Nevada de Californie. In-4°, XVI-569 p., avec 24 pl. et 2 cartes. 112f,50.

OUVRAGES SUISSES.

FAVRE. Description des fossiles des couches tithoniques des Alpes fribourgeoises. Genève. In-4°, 75 p., avec 5 pl. 12 fr. (Extr. des *Abhandl d. schweizer. paläontol. Gesellschaft.*)

DE LORIOL. Monographie des Crinoïdes fossiles de la Suisse. 3 parties. Genève. In-4°, 300 p., avec 21 pl. 30 fr. (Extr. du même recueil.)

ROTHPLETZ. *Die Steinkohlenformation...* La formation houillère du versant oriental du Tœdi et sa flore. Zurich. In-4°, 28 p. et 2 pl. 5 fr. (Extrait du même recueil.)

WIEDERSHEIM. *Ueber einen neuen Saurus...* Sur un nouveau saurien du trias. Zurich. In-4°, 6 p. et 1 pl. 4 fr. (Extr. du même recueil.)

SCHOOP. *Die Aenderung...* Variation des densités de vapeur à pression variable et à température variable. Zurich. In-8°, 67 p., avec 1 pl. 2f,50.

STAPFF. *Generelles geologisches...* Profil géologique général dans le plan du tunnel du Saint-Gothard. Zurich. In-folio, 60 p., avec une carte coloriée à l'échelle de $\frac{1}{25.000}$. 10 fr.

OUVRAGES ALLEMANDS.

ARENDT. *Technik der Experimentalchemie...* Technique de la chimie expérimentale. Leipzig. T. I, livr. 1-2. In-8°, p. 1-208. Chaque livr. : 3f,75.

v. BAUERNFEIND. *Das bayerische...* Le nivellement de précision de la Bavière et ses applications à la mesure des degrés européens. Munich. In-8°, VIII-150 p., avec une carte. 6f,25.

DELLINGHAUSEN. *Das Räthsel...* Le problème de la gravitation. Heidelberg. In-8°, VIII-230 p. 7f,50.

DU BOIS-REYMOND. *Zur Geschichte...* Sur l'histoire des séries trigonométriques. Tubingue. In-8°, 62 p. 1f,90.

FARKAS. Généralisation du logarithme et de l'exponentielle. Bude-Pesth. In-8°, V-121 p. 4f,40.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. Fehling*, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. Brunswick. In-8°. Livr. 34 et 35 (t. III, p. 673-864). Chaque livr. : 3 fr.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematiches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livr. 288-294; 204 p., 41 pl. Chaque livr. : 11f,25.

SCHEFFLER. *Die Naturgesetze*... Les lois de la nature et leur liaison avec les principes des sciences abstraites. Leipzig. 3e partie, 3e livr. In-8°, p. VIII et 743-930. 3f,75.

BÖCKMANN. *Die explosiven Stoffe*... Les matières explosives; histoire, propriétés, essai et emploi pratique. Vienne. In-8°, IV-431 p. 6f,25.

Handbuch der chemischen... Manuel de technologie chimique composé et publié par *P. Bolley*, en collaboration avec plusieurs savants et praticiens; continué après sa mort par *K. Birnbaum*. Brunswick. T. I, 3e groupe, 1re livraison. In-8°, 160 p. 6f,25.

IBEN. *Druckhöhen-Verlust*... Perte de charge dans les conduites de fer fermées. Hambourg. In-8°, V-89 p., avec 10 pl. 6f,25.

FISCHER. *Die chemische Technologie*... Technologie chimique de l'eau. Brunswick. 2e et dernière livr. In-8°, XII et p. 161-403. 10 fr.

GOLDSTEIN. *Untersuchungen*... Recherches sur la décharge électrique dans les gaz. Berlin. In-8°, VIII-197 p. 5 fr.

HOSIUS und V. D. MARCK. *Die Flora*... Flore de la formation crétacée de Westphalie. Cassel. In-4°, 117 p., avec 21 pl. 60 fr. (Extr. des *Palæontographica*.)

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde*... Paléontologie de l'Allemagne. Leipzig. 1re partie, t. VI; fasc. 3-6, comprenant chacun un atlas de 6 pl. In-8°, p. 337-912. Chaque fasc. : 20 fr.

SCHENDEL. *Beiträge*... Contributions à la théorie des fonctions. Halle. In-8°, III-66 p. 2 fr.

SCHOTTKY. *Abriss einer Theorie*... Ébauche d'une théorie des fonctions abéliennes de trois variables. Leipzig. In-8°, 182 p. 5 fr.

THOMÆ. *Elementare Theorie*... Théorie élémentaire des fonctions analytiques d'une variable complexe. Halle. In-4°, VIII-132 p. 9f,40.

WIESEMANN. *Ursachen der Haupt-Naturerscheinungen*... Principes des principaux phénomènes naturels : pesanteur, dureté, élasticité, lumière, couleur, électricité, combinaisons chimiques, etc., déduits logiquement et mathématiquement d'un principe fondamental unique. Bruxelles. In-8°, 63 p. 5 fr.

KESSELER. *Die Radreifen-Befestigungen...* Moyens de consolider les rayons des roues des véhicules de chemins de fer pour empêcher leur disjonction en cas de rupture. Berlin. In-8°, 65 p. 12f,50.

FRITSCH. *Fauna der Gazkohle...* Faune des charbons à gaz et des calcaires de la formation permienne de Bohême. Prague. T. I, fasc. 2. In-4°, p. 93-126, avec 12 pl. 40 fr.

RUDIO. *Ueber diejenigen Flächen...* Sur les surfaces telles que les lieux des milieux de leurs centres de courbure principaux sont des surfaces homofocales du second degré. Berlin. In-4°, 17 p. 1f,90.

RUNGE. *Ueber die Krümmung...* Sur la courbure, la torsion et la courbure géodésique des courbes tracées sur une surface. Magbourg. In-4°, 25 p. 1f,90.

SARTORIUS V. WALTERSHAUSEN. *Der Ætna...* L'Etna. Publié et complété par *A. v. Lasaulx* d'après les manuscrits du défunt. Leipzig. T. I. In-4°, XX-371 p., avec une carte et 14 pl. 50 fr.

SCHELL. *Die Tachymetrie...* La tachymétrie, avec considérations spéciales sur le tachymètre de Tichy et Starke. Vienne. In-8°, IV-93 p. avec 2 pl. 3f,75.

SCHMID. *Die quarzfreien Porphyre...* Les porphyres sans quartz du Waldgebirge de la Thuringe centrale et les roches qui les accompagnent. Iéna. In-4°, IV-166 p. avec 6 pl. 22f,50.

STRUCKMANN. *Die Wealden-Bildungen...* Les dépôts wealdiens des environs de Hanovre. Hanovre. In-4°, VIII-123 p., avec 5 pl. 15 fr.

VEIT. *Ueber die Vergleichung...* Sur la comparaison des densités du cristal de roche. Munich. In-4°, 100 p. 3f,75. (Extr. des *Abhandl. d. k. bayer. Akad. d. Wissenschaften.*)

BITTNER, NEUMAYR und TELLER. *Ueberblick...* Aperçu sur la constitution géologique d'une partie des côtes de la mer Égée. Vienne. In-4°, 39 p., avec 3 cartes. (Extr. des *Denschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

GEINITZ und V. D. MARCK. *Zur Geologie...* Sur la géologie de Sumatra. Cassel. In-4°, 16 p., avec 2 pl. 7f,50. (Extr. des *Mittheil. aus. d. k. mineralog. Museum in Dresden.*)

HOEFER. *Die Erbeben...* Les tremblements de terre de Carinthie et leurs lignes de propagation. Vienne. In-4°, 90 p., avec 3 cartes. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

HUSMANN. *Ueber äquipotentiale...* Sur les distributions équipotentielle d'un système de masses. Greifswald. In-8°, 38 p., avec 1 pl. 1f,50.

MASCHKE. *Ueber ein dreifach...* Sur un système de surface triple-

ment orthogonal formé par des surfaces du troisième ordre. Hulle. In-4°, 20 p. 1f,25.

NEUMAYR. *Ueber den geologischen Bau*... Sur la constitution géologique de l'île de Cos et sur la division des dépôts tertiaires récents de l'Archipel. Vienne. In-4°, 102 p., avec une carte géologique de l'île de Cos et 2 pl. 8f,75. (Extr. des *Denkschr. d. Akad. d. Wissenschaften.*)

v. OBERMAYER. *Uber die Abhängigkeit*... Sur la liaison entre les coefficients de diffusion des gaz et la température. Vienne. In-8°, 26 p., 2 pl. 2 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *A. Zittel*. Cassel. In-4°, t. XXVII (3e série, t. III), 1re livr., 81 p., avec 11 pl. 45 fr.

PELZ. *Zur wissenschaftlichen*... Sur l'emploi scientifique de l'axonométrie orthogonale. Vienne. In-8°, 31 p., avec 1 pl. 1f,75. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

DU PREL. *Die Planetenbewohner*... Les habitants des planètes et l'hypothèse de la nébuleuse ; nouvelles études sur la formation de l'univers. Leipzig. In-8°, VI-175 p. 3f,75.

PRINGSHEIM. *Zur Theorie*... Sur la théorie des fonctions hyperelliptiques et particulièrement de celles de troisième ordre ($\rho=4$). Leipzig. In-8°, 43 p. 1f,90.

—— *Zur Transformation*... Sur la transformation de second degré des fonctions hyperelliptiques de premier ordre. Berlin. In-8°, 31 p., 1f,50. (Extr. des *Mathemat. Annalen.*)

PULUJ. *Strahlende*... La matière radiante. Vienne. In-8°, 60 p. 1f,50. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Geologische Studien... Etudes géologiques sur les côtes de l'Archipel grec, par *Rittner*, *Burgerstein*, *Calvert*, *Heger*, *Hilber*, *Neumayr* et *Teller*. Vienne. In-4°, 415 p., avec 15 pl. et 5 cartes. 43f,75. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenchaften.*

TELLER. *Geologische Beobachtungen*... Observations géologiques sur l'île de Chio. Vienne. In-4°, 17 p., avec une carte géologique. 3 fr. (Extr. du même recueil.)

WEISBACH. *Characteres mineralogici. Characteristik*... Caractères des classes, ordres et familles du règne minéral. Freiberg. In-8°, 57 p. 2f,50.

v. BECKER. *Ueber das periodische Schmieren*... Sur le graissage périodique des wagons; systèmes employés et expériences faites

par les 33 compagnies de chemins de fer austro-hongroises. Vienne. In-8°, 26 p., avec 20 pl. 11f,25.

v. Pichler. *Der Indicator*... L'indicateur des machines à vapeur et ses diagrammes. Vienne. In-8°, 81 p. 4f,90.

Burgerstein. *Geologische Beobachtungen*... Observations géologiques sur la Calabre méridionale. Vienne. In-8°, 20 p., avec 1 pl. et une carte. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Hattendorff. *Höhere Analysis*... Analyse supérieure. Hanovre. In-8°, t. I. livr. 1 à 3, xiv-624 p. 18f,75.

Hoernes. *Materialien*... Matériaux pour une monographie du genre Megalodus, avec examen particulier des formes mésozoïques. Vienne. In-4°, 38 p., avec 7 pl. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Klempt. *Lehrbuch zur Einführung*... Introduction à l'algèbre moderne. Leipzig. In-8°, xii-260 p. 5 fr.

Mahler. *Die Fundamentalsätze*... Principes fondamentaux de la théorie générale des surfaces. Vienne. In-8°, v-28 p. 1f,25.

Radicke. *Die Recursionsformeln*... Les formules récurrentes pour le calcul des nombres de Bernouilli et d'Euler. Halle. In-8°, iii-35 p. 1f,50.

Rühlmann. *Handbuch*... Manuel de la théorie mécanique de la chaleur. Brunswick. In-8°. T. II, 2e livr., p. 321-608. 9 fr.

Sprockhoff. *Grundzüge*... Principes de physique. Hanovre. In-8°, viii-192 p. 2f,50.

Worpitzky. *Lehrbuch*... Traité de calcul différentiel et intégral. Berlin. In-8°, xx-784 p. 30 fr.

Zittel. *Ueber den geologischen Bau*... Sur la constitution géologique du désert de Lybie. Munich. In-4°, 47 p. 3 fr.

—— *Handbuch der Paläontologie*... Manuel de paléontologie, publié avec le concours de *W. P. Schimper*. Munich. In-8°. T. I, 4e livr., viii et p. 565-765. 10 fr.

Meissner. *Die Hydraulik*... L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna. In-8°. T. II : Turbines et roues hydrauliques, 8e fasc., p. 395-456, av. 6 pl. 3f,75.

Schleicher und Trau. *Die Rheinbrücke*... Le pont du Rhin à Germersheim. Ludwigshafen. In-4°, vii-216 p. 31f,25.

Barford. *Lehrbuch der organischen*... Traité d'analyse organique qualitative. Copenhague. In-8°, 1re livr., 192 p. 4f,40.

Belohoubek. *Ueber den Einfluss*... De l'influence des conditions géologiques sur la composition des eaux de source et de puits.

Prague. In-8°, 46 p. 1f,50. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. böhm. Gesellsch. d. Wissenschaften.*)

GROSSMANN. *Theorie der numerischen*... Théorie de la détermination numérique des constantes du frottement interne et externe des gaz et des fluides au moyen de disques oscillants. Breslau. In-8°, 56 p. 1f,25.

HERRMANN. *Ueber das Ausströmen*... De l'écoulement des gaz par des ouvertures en mince paroi. Breslau. In-8°, 40 p., avec 1 pl. 1f,25.

KNOPF. *Uber die Methoden*... Sur les méthodes de détermination de la densité moyenne de la terre. Iéna. In-8°, 58 p. 1f,80.

NEUMANN. *Ueber die peripolaren*... Sur les coordonnées péripolaires. Leipzig. In-8°, 36 p. 1f,90. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften.*)

—— *Die Vertheilung*... Répartition de l'électricité sur une calotte sphérique. Leipzig. In-8°, 58 p. 3 fr. (Extr. du même recueil.)

WENDT. *Zur Theorie*... Sur la théorie des lignes géodosiques sur une surface du second degré. Berlin. In-4°, 21 p. autogr. 1f,50.

Abhandlungen... Mémoires pour servir à l'histoire des mathématiques. Leipzig. In-8°, fasc. 3, 276 p. 8 fr.

BEHRENS. *Beiträge*... Contributions à la pétrographie de l'archipel Indien. Amsterdam. In-4°, H-24 p., avec 2 pl. 3f,25.

BEILSTEIN. *Handbuch*... Manuel de chimie organique. Leipzig. In-8°, 1re livr., 160 p. 3f,75.

Beiträge zur Paläontologie... Contributions à la paléontologie de l'Autriche-Hongrie et des pays limitrophes; publié par *E. v. Mojsisovics* et *M. Neumayer*. Vienne. In-4°. T. I, fasc. 1, 72 p., avec 8 pl. 50 fr.

BIEBER. *Ueber zwei neue*... Sur deux nouveaux batraciens de la formation de lignites de Bohême. Vienne. In-8°, 23 p., avec 3 pl. 1f,25 (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

CANTOR. *Vorlesungen*... Leçons sur l'histoire des mathématiques. Leipzig. In-8°. T. I, VIII-804, avec 1 pl. 25 fr.

COGLIEVINA. *Centigrad-Photometer*. Photomètre centigrade. Brunswick. In-8°, X-48 p., avec 3 pl. 3 fr.

HUSSAK. *Beiträge zur Kenntniss*... Contribution à la connaissance des roches éruptives des environs de Schemnitz. Vienne. In-8°, 68 p., avec 2 pl. 2 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

LECHER und PERNTER. *Ueber die Absorption*... Sur l'absorption des rayons sombres de chaleur dans les gaz et les vapeurs. Vienne. In-8°, 38 p., avec 1 pl. 1f,25. (Extr. du même recueil.)

MARX. *Ueber eine Fläche...* Sur une surface du quatrième ordre possédant deux sections coniques réelles et sur son application à la solution de ce problème : « Couper trois droites données dans l'espace en trois points tels que le triangle ainsi formé soit semblable à un triangle donné. » Munich. In-4°, 21 p., avec 3 pl. 3f,75.

SIEBER. *Zur Kenntniss...* Matériaux pour l'étude de la flore des lignites du Nord de la Bohême. Vienne. In-8°, 35 p., avec 5 pl. 2f,25.

DÜRRE. *Die Anlage...* Etablissement et exploitation des usines à fer. Leipzig. In-4°. T. I, livraison 1-3. p. 1-72, avec 18 pl. Chaque livr. 7f,50.

FOEPPL. *Ausgewählte Capitel...* Chapitres choisis de la théorie mathématique des constructions. Leipzig. In-8°. 2e partie : Théorie des voûtes. VIII-152 p. 7f,50.

UHLAND. *Die Dampfmaschinen...* Les machines à vapeur à distribution par tiroirs. Leipzig. In-4°, 1re livr., 24 p. 8f,75.

OUVRAGES RUSSES.

SABANJEEW. Les métaux précieux. Saint-Pétersbourg. In-8°, 184 p. 8f,75.

OUVRAGES ITALIENS.

MANZONI. *Echinodermi fossili...* Echinodermes fossiles de la molasse serpentineuse et supplément aux échinodermes du schlier des collines de Bologne. Vienne. In-4°, 8 p., avec 3 pl. 2 fr. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

—— *La geologia...* Géologie de la province de Bologne. Modène. In-8°, 37 p. (Extr. de l'*Annuario d. Soc. d. naturalisti di Modena.*)

FILETI. *Tavole di analisi...* Tables d'analyse chimique qualitative. 2e édition. Turin. In-8°, 14 tabl. 2 fr.

GILETTA. *Studio sul triangolo...* Etude sur le triangle géodésique. Rome. In-8°, 93 p., avec 3 pl.

MASSANO. *Freno-motore...* Fréno-moteur pour tramways et pour chemins de fer. Turin. In-4°, 12 p.

RIGHI. *Sopra un caso...* Sur un cas de polarité permanente de l'acier, de sens inverse à celle de l'hélice magnétisante qui l'a produite. Bologne. In-16, 3 p. (Extr. des *Resoconti d. Accad. d. scienze di Bologna.*)

—— *Sulla dilatazione...* Sur la dilatation galvanique. In-4°, 4 p.

—— *Sulla formazione...* Sur la formation de l'arbre de Mars. Bologne. In-4°, 7 p.

—— *Sulle variazioni...* Sur les variations de longueur qui ac-accompagnent l'aimantation. Bologne. In-4°, 16 p.

Coari. *Studii sulle livellazioni...* Etudes sur les nivellements géométrique de précision. Rome. In-4°, 31 p.

Dorna. *Applicazione dei principii...* Application des principes de la mécanique analytique à des problèmes. Note V. Turin. In-4°, 38 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

D'Ovidio. *La relazione...* Relation entre les huit invariants fondamentaux de deux formes binaires biquadratiques. Turin. In-8°, 20 p. (Extr. des *Atti d. R. Acad. d. scienze di Torino.*)

—— *Nota sulle forme...* Note sur les formes binaires du cinquième ordre. Turin. In-8°, 24 p. (Extr. du même recueil.)

Omboni. *Il gabinetto...* Le cabinet de minéralogie et de géologie de l'Université R. de Padoue. Padoue. In-8°, 32 p.

Strippelmann. Société italienne des mines pétrolifères de Terra di Lavoro : relation et expertise. Milan. In-4°, 44 p.

De Negri. *Connessione...* Connexion de la physique avec la chimie. Gênes. In-8°, 31 p.

Fais. *Sulle principali proprietà...* Sur les propriétés principales des trajectoires orthogonales des génératrices des surfaces réglées. Bologne. In-4°, 33 p.

Vecchi. *Gli icnortometri...* Les icnortomètres, instruments nouveaux qui relèvent automatiquement le profil longitudinal et la planimétrie d'un chemin parcouru par un véhicule. Parme In-4°, 75 p., avec 4 pl.

Castellini. *L'umanità...* L'humanité dans les évolutions géologiques. Turin. In-8°, 88 p.

Giacometti. *Note per uno studio...* Notes pour une étude paléontologique du territoire de Mantoue. Mantoue. In-4°, 15 p. (Extr. des *Atti e Mem. d. R. Accad. Virgiliana.*)

Goiran. *Meteorologia endogena...* Météorologie interne : histoire séismique de la province de Vérone. Part. 1. Vérone. In-8°, 153 p. 3f,50.

Molon. *Preistorici...* Préhistoriques et contemporains ; études paléoethnologiques sur les populations liguriennes. Milan. In-4°, 72 p. et 5 pl.

Stella. *Locomotive...* Locomotives routières. Rome. In-16, 27 p. (Extr. de la *Rivista militare italiana.*)

Basso. *Contribuzione alla teoria...* Contributions à la théorie des

phénomènes de diffraction. Turin. In-8°, 12 p. (Extr. des *Atti d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

Bonelli. Projet d'un chemin de fer international à faibles pentes à travers les Appennins et les Alpes par la chaîne du Mont-Blanc, offrant le double avantage de relier la Ligurie à Genève, ou directement l'Italie à la France. Avec planimétrie, profil général de la ligne et coupe transversale du groupe du Mont-Blanc. Turin. In-8°, xvi-56 p., avec 1 pl. 2 fr.

Bruno. *Sopra i triedri...* Sur les trièdres trirectangles dont les arêtes sont toutes normales à une courbe du quatrième ordre donnée. Turin. In-8°, 14 p. (Extr. des *Atti d. Accad. d. scienze di Torino.*)

G. Curioni. *L'elasticità...* L'élasticité dans la théorie de l'équilibre et de la stabilité des voûtes. Turin. In-4°, 28 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

Loroco. *Cenno...* Esquisse topographique et géologique de la province de Bari. Turin. In-8°, 14 p.

Frascara. *Sui determinanti.* Sur les déterminants. Gênes. In-16, 46 p.

Ragazzoni. *La collina di Castenedolo...* La colline de Castenedolo sous le rapport anthropologique, géologique et agronomique. Brescia. In-8°, 13 p.

Bassani. *Note...* Notes paléontologiques. Padoue. In-8°, 16 p., avec planches.

De Benedictis. *Studii pratici...* Etudes pratiques sur l'hypsométrie barométrique. Rome. In-8°, 55 p.

Jadanza. *Sulla latitudine...* Sur la latitude, la longitude et l'azimuth des points d'un réseau trigonométrique, Florence. In-4°, 22 p.

Marinelli. *Materiale...* Matériaux pour l'altimétrie italienne : région vénéto-orientale, série III. Turin. In-4°, 24 p. (Extr. du *Cosmos.*)

A. Perozzi. *Fuochi delle coniche...* Foyers des coniques. Turin et Rome. In-4°, 64 p. 3 fr.

Petrosemolo. *Sulla determinazione...* Sur la détermination du signe de $d\delta$ dans l'équation d'ordre correspondant. Livourne. In-8°, 16 p. avec pl.

Sansoni. *Contribuzioni...* Etudes minéralogiques sur les zéolithes de l'île d'Elbe. Pise. In-4°, 16 p. (Extr. des *Atti d. Soc. toscana d. sc. naturali.*)

Turazza. *Trattato d'idraulica...* Traité d'hydraulique pratique,

3ᵉ édition, notablement améliorée et augmentée. Padoue. In-8°, v-625 p., avec 2 pl. 10 fr.

COTTRAU. *Sul materiale...* Sur le matériel roulant du chemin de fer de Palerme à Trapani. Turin. In-16, 15 p. (Extr. du *Monitore d. strade ferrate.*)

FORTI. *La teorica...* La théorie des erreurs et la méthode des moindres carrés, avec applications aux sciences d'observation. Milan. In-4°, 97 p., avec pl. 2ᶠ,50.

GERBALDI. *Sui sistemi...* Sur les systèmes de cubiques gauches ou de développables de troisième classe déterminés au moyen de deux cubiques ponctuées d'une manière projective. Turin. In-4°, 51 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

GIRAUD. *La genesi* .. La genèse des forces. Turin. In-8°, 28 p. 1ᶠ,50.

KLITSCHE DE LA GRANGE. *Sulla formazione...* Sur la formation de quelques petits volcans de fange aux environs de Civita-Vecchia. Rome. In-4°, 6 p.

BOMBICCI. *Mineralogia...* Minéralogie générale. Milan. In-16, XIV-174 p. 1ᶠ,50.

BARETTI. *Il lago...* Le lac du Rutor; recherches historico-scientifiques. Turin. In-8°, 59 p., avec 4 pl.

DURELLI. *Esperienze...* Expériences sur la dynamite Nobel et sur la dynamite gélatineuse.

TARAMELLI. *Monografia stratigrafica...* Monographie stratigraphique et paléontologique du lias dans les provinces vénitiennes. Venise. In-4°, XI-89 p., avec 10 pl. (Extr. des *Atti d. Istit. veneto d. sc., lett. ed arti.*)

MILLOSEVICH. *L'osservatorio...* L'observatoire Bellini sur l'Etna. Rome. In-16, 13 p. (Extr. de la *Rassegna settimanale.*)

ORSONI. *I depositi...* Les dépôts de soufre du subapennin bolonais. Bologne. In-16, 32 p.

SCACCHI e DEL LUPO. *Quadri cristallografici...* Cadres cristallographiques pour servir aux leçons de minéralogie de l'Université. Turin. In-8°, 35 p. 1ᶠ,50.

BECHI. *Nuove ricerche...* Nouvelles recherches chimiques sur l'eau minérale des Tamerigi et d'Angiolo di Montecatini. Florence. In-8°, 8 p.

BERTACCHI. *Della coesione...* De la cohésion dans ses rapports avec les forces cristallogéniques. Turin. In-8°, 157 p. 2 fr.

CANEVAZZI. *Sopra alcune formole...*, Sur quelques formules de la résistance des matériaux. Bologne. In-4°, 16 p. (Extr. des *Mem. d. Accad. d. sc. d. Istit. di Bologna.*)

DA COMO. *Formola pratica...* Formule pratique pour la quadrature

des aires des figures comprises entre une courbe plane et une base rectiligne, et des figures planes curvilignes en général. Brescia. In-8°, 16 p.

BARTOLI. *Apparecchio...* Appareil pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. Pise. In-8°, 15 p., avec pl.

—— *Le leggi...* Les lois de la polarité galvanique. Pise. In-8°, 46 p., avec 2 pl.

CARDINALI. *Cenni geologici...* Notes géologiques sur les environs de Pesaro : couches à congéries et petits cardium; conglomérat polygénique. Pesaro. In-8°, 52 p., avec pl.

CAUDA. *Analisi chimica...* Analyse chimique de l'eau minérale de Levico. Padoue. In-16, 8 p.

COPPI. *Indicazioni a guida...* Indications pour un guide géologique et minéralogique de la province de Modène-Frignano. Modène. In-8°, 20 p. 1 fr. (Extr. de l'*Annuario d. Soc. d. naturalisti di Modena.*)

JERVIS. *Dell' oro...* De l'or dans la nature; son histoire chez les peuples anciens et modernes; sa distribution géographique; ses conditions géologiques, minéralogiques et économiques. Turin. In-16, XVI-204 p. 4 fr.

PADOVA. *Dimostrazione...* Démonstration d'un théorème relatif à l'intégration des équations à dérivées partielles du premier ordre. Pise. In-8°, 7 p. (Extr. du *Nuovo Cimento.*)

SARTORIO. *Il colle...* La colline de S. Colombario et ses fossiles. Pistoïa. In-8°, fasc. 1. (Extr. de la *Cronaca d. R. Licco Forteguerri di Pistoia.*)

SECCO. *Guida geologico-alpina...* Guide géologique alpin de Bassano et des environs. Bassano. In-24, 123 p., avec une carte géologique. 2f,50.

TARGIONI-TOZZETTI. *Indagini...* Recherches sur la composition chimique de l'eau minérale d'Arcangiole, faites en 1859. Pontedera. In-8°, 14 p.

OUVRAGES ESPAGNOLS.

BARINAGA Y CORRADI. *Curso de metalurgia...* Cours spécial de métallurgie. In-4°, XXII-892 p. 60 fr.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1880.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

AMIGUES (E.), professeur de mathémathiques spéciales au lycée de Nîmes. — De quelques propriétés d'une famille de courbes représentée par une équation différentielle à deux variables. In-8°, 12 p. (5005)

ASTOR, professeur au lycée de Nice. — Étude sur quelques surfaces. In-4°, 97 p. (3717)

COLLIGNON (E.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Note sur l'inscription dans le cercle du polygone régulier de dix-sept côtés. In-8°, 8 p. (5372)

COLLIGNON (E.). — Problèmes de géodésie. In-8°, 10 p. (5071)

LEDOUX, ingénieur des mines. — Mémoire sur l'emploi de la détente dans les machines d'extraction. In-8°, 86 p. et pl. (2123)

LONGCHAMPS (G. de), professeur de mathématiques spéciales au lycée Charlemagne. — Recherche sur les facteurs commensurables d'une équation de degré quelconque. In-8°, 8 p. (3157)

PARMENTIER. — Sur la quadrature des paraboles du troisième degré. In-8°, 6 p. (5237)

RITTER (F.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Quelques inventions mathématiques de F. Viète. In-8°, 6 p. (5565)

SCHOUTE (P. H.). — De la projection sur une surface; par le docteur Schoute, In-8°, 31 pages. (5591)

SIMON (C.), ancien directeur de l'observatoire de Marseille. — Mémoire sur la nouvelle navigation astronomique. In-8°. 6 p. (5597)

2° Chimie. — Physique.

Aune (H.), docteur en médecine. — Effets physiologiques des inhalations d'oxygène, d'après des expériences exécutées sur lui-même par l'auteur. In 4°, 36 p. (4010)

Brunfaut (J.). — Des phosphates et des produits chimiques propres à l'agriculture. In-8°, 102 p. (3023)

Chapuis (A.). — Influence des corps gras sur l'absorption de l'arsenic; physiologie, toxicologie. In-8°, 105 p. (1304)

Corenwinder (B.) et G. Contamine. — Nouvelle méthode pour analyser avec précision les potasses du commerce. In-8°, 23 p. (4295)

Duvillier (E.). — Etude sur les dérivés des acides α-oxybutyrique et isooxyvalérique. In-4°, 109 p. (2077)

Fleischer (E.). — Traité d'analyse chimique par la méthode volumétrique. Traduit de l'allemand sur la 2° *édition*, par le docteur L. Gautier. In-8° 428 p. avec fig., 8 fr. (2085)

Kranner. — Le Télégraphe imprimeur automatique de M. Olsen. In-8°, 71 p. avec 22 fig. (2709)

Ogier (J.). — Recherches sur les combinaisons de l'hydrogène avec le phosphore, l'arsenic et le silicium. In-4°, 63 p. (3657)

Quesneville (G.). — De la détermination des chaleurs spécifiques à volume constant dans le cas des corps simples et composés. In-4°, 35 p. (2764)

Ritter. — Cours de chimie; leçons faites à la Faculté de médecine de Nancy, recueillies par M. L. Garnier, chef des travaux chimiques à la Faculté. Deuxième partie : Chimie organique. Troisième partie : Chimie toxicologique. 2 vol. gr. in-8°, 661 p. (2366)

Schlumberger (A.). — L'acide salicylique et ses applications à la conservation des boissons et des aliments. In-8°, 72 p. (3686)

Schützenberger (P.). — Traité de chimie générale, comprenant les principales applications de la chimie aux sciences biologiques et aux arts industriels; par Paul Schützenberger, professeur au Collège de France. T. 2. In-8°, 631 p. avec 133 fig. (3688)

Wurtz (A.). — Traité de chimie biologique; par M. Ad. Wurtz, de l'Institut, professeur à la Faculté de médecine et à la Faculté des sciences de Paris. Première partie. In-8°, 419 p. avec fig. (5296)

Wurtz (A.) et Bouchut (E). — Recherches cliniques et chimiques sur la papaïne ou pepsine végétale tirée du Carica Papaya; par Ad. Wurtz, de l'Institut, professeur de chimie à la Faculté de médecine de Paris, et Bouchut, agrégé à la même Faculté. In-8°, 35 p. (1246)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

Bataillard (P.). — Les Anciens métallurges en Grèce. In-8°, 32 p. (5271)

Carnot (A.), professeur à l'École des mines. — Tableaux des essais de combustibles minéraux faits au bureau d'essai de l'École des mines. In-8°, 70 p. (5053)

Cotteau, Peron et Gauthier. — Échinides fossiles de l'Algérie. Description des espèces déjà recueillies dans ce pays, et considérations sur leur position stratigraphique. 6° fascicule : Étage turonien. In-8°, 110 p. et 8 planches. 15 fr. (3781)

Dromart (E.). — Traité de la carbonisation des bois en forêts. In-18 jésus, XV-172 p. 4 fr. (1901)

Fontannes (J.). — Description des ammonites des calcaires du château de Crussol (Ardèche). Première partie. Grand in-4°, p. XI et 1 à 56, avec 8 planches. (490)

Fontannes (F.). — Description des ammonites des calcaires du château de Crussol (Ardèche). Deuxième partie. Grand in-4°, p. 57 à 123, avec 5 planches. (Fin.) (2282)

Fontannes (F.). — Études stratigraphiques et paléontologiques pour servir à l'histoire de la période tertiaire dans le bassin du Rhône. IV. Les Terrains néogènes du plateau de Cucuron ; Cadenet ; Cobrières-d'Aigues. Grand in-8°, 104 p. avec figures et 3 planches. (2086)

Lapparent (A. de), ingénieur au corps des mines. — Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Le Pays de Bray. Grand in-4°, 187 p. et 4 planches. (2119)

Lencauchez (A.). — Note sur la déphosphoration de la fonte, du fer et de l'acier. In-8°, 34 p. (3874)

Marsaut (J.-B.). — Étude sur le lavage de la houille aux mines de Bessèges. In-8°, 61 p. avec fig. et 6 planches. 4f,50. (5485)

Roux (L.), ingénieur en chef des poudres, directeur de la Société générale pour la fabrication de la dynamite. — Les Accidents de la dynamite. In-8°, 16 p. (1993)

Zabé (J.-B.). — Traité théorique et pratique du travail du fer et de l'acier, contenant tous les renseignements nécessaires pour le travail du fer et de l'acier, conduite du feu, chaufferie des métaux, etc. Ouvrage accompagné de 24 planches. In-8°, II-190 p. (1842)

4° *Mécanique. — Exploitation.*

CORNUT (E.). — Étude géométrique des principales distributions en usage dans les machines à vapeur fixes. In-8°, 143 p. et atlas in-4° contenant 55 fig. (2658)

CULMANN (C.), professeur à l'École polytechnique fédérale de Zurich. — Traité de statique graphique. Traduit sur la 2e édition allemande par G. Glasser et J. Jacquier, ingénieurs des ponts et chaussées, et A. Valat, ingénieur civil, ancien suppléant de M. Culmann à l'École polytechnique de Zurich. T. 1. Texte. In-8°, XXIII-604 p. avec fig. L'ouvrage avec atlas, 17f,50. (696)

LEDIEU (A.), H. HUBAC et GILBERT. — Guide du capitaine et du mécanicien de la marine à vapeur du commerce, à l'usage des candidats aux grades de capitaine au long cours et de maître au cabotage, ainsi que des mécaniciens du commerce. 2e édition. In-8°, 303 p. avec fig. et atlas de 5 planches. (2914)

LEDIEU (A.), H. HUBAC et GILBERT. — Manuel de l'ouvrier chauffeur de la flotte; guide complet des candidats aux grades de quartier-maître mécanicien et de second maître mécanicien pratique. 2e édition. In-8°, LXIII-403 p. avec 167 fig. et atlas de 5 planches. (2915)

POILLON (L.), ingénieur des arts et manufactures. — Supplément au Cours théorique et pratique de chaudières et de machines à vapeur. Première partie : Chaudières. In-8°, VIII-213 p. avec fig. et 6 planches. (588)

POILLON (L.). — Théorie des pompes centrifuges simples établie par M. le baron Greindl et présentée à la Société des ingénieurs civils. In-8°, 40 p. et planche. (1798)

TRESCA (H.). — Résultats des expériences de flexion faites sur des rails en fer et en acier au delà de la limite d'élasticité et jusqu'à la rupture. In-8°, 32 p. et planche. (3699)

VIRY (C.). — Leçons de thermodynamique pure, contenant les notions exigées pour l'agrégation de l'enseignement spécial. In-8°, XVI-424 p. 10 fr. (629)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BÉCULE (L.). Monographie de la cathédrale de Lyon; précédée d'une notice historique; par M. C. Guigue. In-f°, VIII-229 p. avec 34 planches hors texte, dont plusieurs en chromolithographie, et fig. diverses. (5024)

Bouquet de la Grye. — Étude sur les nivellements de précision. In-8°, 20 p. (1115)

Kinnear Clark (D.). — Tramways : construction et exploitation ; historique détaillé du système ; analyse des divers modes de traction, etc. ; par D. Kinnear Clark, I.C. de l'Institution des ingénieurs civils de Londres. Ouvrage traduit de l'anglais et augmenté d'un appendice sur les tramways français, leur construction, leur exploitation, le matériel roulant et les machines de traction, etc. ; par O. Chemin, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, xvi-446 p. avec 152 fig. et atlas in-4° de 24 pl. (3856)

Dejardin. — Routine de l'établissement des voûtes, ou Recueil de formules pratiques et de tables déterminant *à priori* et d'une manière élémentaire le tracé, les dimensions et le métrage des voûtes d'une espèce quelconque ; *nouvelle édition.* In-8°, 304 p. (264)

Delataille (É.). — Art du trait pratique de charpente, continuation des ouvrages commencés par Frédéric Larouil ; par Émile Delataille. Quatrième partie. Traité des combles en bois croches, dômes, chinois, impériales, etc. ; raccordement de combles, guitardes, voûtes, trompes, voussures en pénétration de toutes sortes. Grand in-f°, 30 p. et 26 pl. 20 fr. (2264)

Detain (C.) et J. Lacroux. — Constructions en briques. La brique ordinaire au point de vue décoratif ; texte par C. Detain, architecte. Grand in-4°, 51 p. avec 182 fig. (5089)

Dupuy (C.) et Lauras.— Le viaduc de l'Erdre. Traité pratique pour la construction des ponts métalliques en arcs ; par M. Ch. Dupuy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avec le concours de M. Étienne Lauras, ingénieur civil. Texte. In-8°, 83 p. et atlas in-4° de 18 pl. (1904)

Faliès (A.). — Chemins de fer aériens dans Paris. In-4°, 28 p. et 3 pl. (932)

Forquenot. — Visites des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Les locomotives. In-8°, 20 p. (3358)

Guilmard (D.)—Les maîtres ornemanistes, dessinateurs, peintres, architectes, sculpteurs et graveurs ; Écoles française, italienne, allemande et des Pays-Bas (flamande et hollandaise) ; ouvrage renfermant le répertoire général des maîtres ornemanistes, avec l'indication précise des pièces d'ornement qui se trouvent dans les collections publiques et particulières en France, en Belgique, etc. Publication enrichie de 180 planches tirées à

part et de nombreuses gravures dans le texte, donnant environ 259 spécimens des principaux maîtres, et précédée d'une introduction par le baron Davillier. Livraison 1. In-4°, XVI-16 p. et 12 pl. (3119)

JANICKI (S.). — Note sur les divers moyens employés pour améliorer les conditions de navigabilité des rivières. In-8°, 32 p. (972)

LEVEL (E.). — Les chemins de fer devant le Parlement; les grands classements ; construction des lignes classées ; l'État et l'Industrie privée. In-8°, 47 p. (991)

MOLINOS (L.). — La question des chemins de fer de l'État en Belgique. In-8°, 16 p. (5495)

PICARD (A.), ingénieur des ponts et chaussées.—Voûtes biaises; note sur une simplification pratique de l'appareil orthogonal convergent; application au pont souterrain des Kœurs. In-8°, 36 p. (1978)

TALLENDEAU (A.). — La Seine de Paris à Rouen ; canalisation par barrages, déversoirs fixes, voie maritime navigable, avec un tirant d'eau minimum de quatre mètres; les eaux du fleuve maîtrisées au profit de la navigation, de l'industrie et de l'agriculture. In-8°, VIII-165 p. et 3 pl. (3497)

WORMS DE ROMILLY, ingénieur des mines. — Note sur un système de voitures à vapeur; par M. Worms de Romilly. In-8°, 24 p. (5295)

6° *Sujets divers.*

ANNUAIRE DU BATIMENT, des travaux publics et des arts industriels; par E. Sageret. 50e année. In-8° à 2 col. XVI-1644 p. 5f,50. (2216)

COMTE (A.). — Système de politique positive, ou traité de sociologie instituant la religion de l'humanité; par Auguste Comte. T. Ier, contenant le discours préliminaire et l'introduction fondamentale. In-8°, XL-776 p. (1310)

FABRICATION (la) et le commerce des cuirs et des peaux. Études sous la direction de Charles Vincent, rédacteur en chef du journal *la Halle-aux-Cuirs*. Deuxième partie. In-8°, 464 p. 12 fr. (3597)

FIGUIER (L.). — L'année scientifique et industrielle; par Louis Figuier. 23e année (1879). In-18 jésus, 568 p. et gr. 3f,50. (2883)

FOVILLE (A. de). — La transformation des moyens de transport et ses conséquences économiques et sociales par Alfred de Foville, professeur à l'École des sciences politiques. In-8°, XXIII-460 p. 7f,50. (3106)

JACQUIER (J.), ingénieur des ponts et chaussées. — Projet de loi relatif aux chemins de fer d'intérêt local; observations sur ses dispositions financières. (4369)

Lagarrigue (F.). — Récréations scientifiques, ou exposé des faits les plus intéressants et les plus curieux dans les sciences mathémathiques, physiques et naturelles. In-18 jésus, 431 p. (3137)

Peyraud (H.). — De l'application de l'assurance-vie à la garantie absolue du capital et de l'intérêt, ou capitalisation immédiate du travail et de l'intelligence : de l'assurance contre la faillite. In-8°, 152 p. 3f50. (3442)

Programme des conditions d'admission à l'École des ponts et chaussées. In-12, 24 p. (1801)

Programme des conditions d'admission à l'École navale. Concours de l'année 1880. In-12, 32 p. (1802)

Ronna (A.). — Essai sur l'agriculture des États-Unis d'Amérique; le blé aux États-Unis d'Amérique; production, transport, commerce. In-8°, xvi-335 p. 5 fr. (1439)

Voisin (H.), ingénieur des mines. — Mémoire sur les sources minérales de Vichy et des environs; gisement, travaux de captage, régime, origine; par M. H. Voisin. In-8°, 115 p. (1879). (5293)

Voisin-Bey. — Sur le canal interocéanique à travers l'isthme américain. Communication faite à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, le 11 juillet 1879. In-4°, 31 p. (3251)

Yon (L. G.). — Note sur la direction des aérostats. In-4°, 35 p. et 16 pl. (4524)

OUVRAGES ANGLAIS.

Memoirs of the Geological Survey... Explication de la feuille 92 S. E., relative à la région entre Bradford et Skipton, par J. R. Dakyns, C. Fox-Strangways, R. Russell et W. H. Dalton. In-8°. 0f,65.

—— Géologie de parties du Nottinghamshire et du Derbyshire : explication de la feuille 82 S. E., par W. Talbot Aveline; 2e édit. In-8°. 0f,65.

—— Géologie de parties du Nottinghamshire, du Yorkshire et du Derbyshire : explication de la feuille 82 N. E., par W. Talbot Aveline; 2e édit. In-8°. 1f,25.

—— Géologie des environs de Colchester : explication de la feuille 48 S. O., par W. H. Dalton. In-8°. 1f,25.

—— Explication des feuilles 95 S. O., et 95 S. E., relative à la géologie des roches oolithiques et crétacées au sud de Scarborough, par C. Fox-Strangways, avec listes de fossiles revues par R. Etheridge. In-8°. 1f,25.

Geological Survey of Ireland. Explanatory... Mémoire explicatif pour accompagner les feuilles 169, 170, 180 et 181, par G. H. Kinahan, avec notes paléontologiques par W. H. Baily. In-8°. 3f,45.

Explanatory... Mémoire explicatif pour accompagner les feuilles 41, 53 et 64 de la carte géologique de l'Irlande, comprenant la région autour de Ballina, Crossmolina, Killala, Foxford et Ballycastle ; par Richard Glascott Symes. In-8°. 5f.

—— Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 120 de la carte géologique de l'Irlande, comprenant des portions des comtés de Kildare, Wicklow et Dublin. In-8°. 1f.

ANDERSON. *Lightning*... Conducteurs de lumière, leur histoire, leur nature, leurs applications. In-8°, 260 p. 20f.

BLOXAM. *Chemistry*... Chimie inorganique et organique. 4e édit. In-8°, 710 p. 20f.

PENNING. *A text-book*... Traité de géologie, avec une section paléontologique, par A. J. Jukes Brown. 2e édit., revue et augmentée. In-8°, 326 p. 9f,40.

—— *Engineering geology*. Géologie de l'ingénieur. In-8°, 176 p. 4f,40.

GALLOWAY. *Treatise*... Traité des combustibles. In-8°, 140 p. 7f,50.

BUCK. *The construction*... De la construction des puits de grands souterrains. In-8°. 15f.

CLARKE. *The principles*... Principes de statique graphique. In-4°, 146 p. 15f,65.

CLOWES. *An elementary treatise*... Traité élémentaire de chimie pratique et d'analyse inorganique qualitative. 3e édit. In-8°, 352 p. 9f,40.

NICOLS. *Chapters*... Chapitres de l'histoire physique de la terre ; introduction à la géologie et à la paléontologie. In-8°, 280 p. 6f,25.

PIPER. *Acoustics, light*... Acoustique, lumière et chaleur. In-8°, 158 p. 3f,15.

TILDEN. *Practical chemistry*... Chimie pratique : principes d'analyse inorganique. In-12, 118 p. 1f,90.

BATHGATE. *New-Zealand*... La Nouvelle-Zélande, ses ressources et son avenir. In-8°, 112 p. 1f,90.

JEANES. *Steel, its history*... L'acier ; son histoire, sa fabrication, ses propriétés et ses usages. In-8°, 874 p. 45f.

J. PERCY. *Metallurgy*... Métallurgie : argent et or ; 1re partie. In-8°, 700 p. 37f,50.

MAGNUS. *On Euclid*... Sur Euclide et l'enseignement de la géométrie. In-8°, 22 p.

BLAIKIE. *The elements...* Éléments de dynamique. 3ᵉ édit., revue et augmentée. In-8°, 114 p. 4ᶠ,40.

DAWSON. *Fossil men...* Les hommes fossiles et leurs représentants modernes; essai pour expliquer les caractères et la condition des hommes préhistoriques en Europe par ceux des races américaines. In-8°, 350 p. 9ᶠ,40.

ELLIS. *The chemistry...* La chimie de la création. Nouvelle édition, revue. In-12, 330 p., 5 fr.

WARD. *The constitution...* La constitution de la terre. In-8°, 390 p. 9ᶠ,40.

Parliamentary. — Explosion... Explosion de la houillère de Blantyre ; rapports. 2 fr.

—— *Railway...* Freins continus des chemins de fer. Rapports de décembre 1879. 1 fr.

—— *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer. Rapports des inspecteurs pour l'année 1879. Octobre-Décembre. 9ᶠ,40.

—— —— Rapports des inspecteurs. Janvier-Mars 1880. 3ᶠ,50.

—— *Railway...* Signaux de chemins de fer : rapports. 0ᶠ,75.

SCOTT. *A treatise...* Traité de la théorie des déterminants, et de leurs applications en analyse et en géométrie. In-8°, 260 p. 15 fr.

WILLIAMSON. *An elementary treatise...* Traité élémentaire de calcul différentiel. 4ᵉ édit. revue et augmentée. In-8°. 11ᶠ,15.

DAWKINS. *Early man...* L'homme primitif en Bretagne, et sa place dans la période tertiaire. In-8°, 557 p. 31ᶠ,25.

DEL MAR. *A history...* Histoire des métaux précieux, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. In-8°, 382 p. 12ᶠ,90.

LUNGE. *A theoretical...* Traité théorique et pratique de la fabrication de l'acide sulfurique et des alcalis. T. II. In-8°. 4ᶠ,40.

DARWIN. *The origin...* L'origine des espèces par sélection naturelle. 6ᵉ édit. In-8°, 466 p. 9ᶠ,40.

GOSS. *Geological antiquity...* Ancienneté géologique des insectes. In-8°, 50 p. 1ᶠ,90.

HUGHES. *Outlines of geology...* Notes géologiques sur l'Irlande. 3ᵉ édit. In-8°, 138 p. 1ᶠ,90.

TYNDALL. *Heat a mode...* De la chaleur comme mode de mouvement. 6ᵉ édit. In-8°, 598 p. 15 fr.

VALENTIN. *A course...* Cours d'analyse chimique qualitative ; revu et corrigé par W.-R. Hodgkinson. 5ᵉ édit. In-8°, 240 p. 9ᶠ,40.

ROSS. *Alphabetical manual...* Manuel alphabétique de l'analyse au chalumeau. In-8°, 148 p. 6ᶠ,25.

URQUHART. *Electric light...* La lumière électrique, sa production et son emploi. In-8°, 304 p. 9ᶠ,40.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

ALLEN. *Solar light...* Lumière et chaleur solaires. New-York. In-8°, XVI-241 p. 9f,40.

BEARDSLEE. *Experiments on the strength...* Expériences sur la résistance du fer ouvré et des câbles-chaînes. New-York. In-8°, VI-119 p. 12f,50.

CAIN. *Theory of solid...* Théorie des arcs solides et élastiques. New-York. In-32, 172 p. 3f,15.

GREENE. *Trusses and arches...* Discussion et analyse de la résistance des poutres et des arcs par méthodes graphiques. New-York. In-8°, 190 p. 15f,65.

CRAIG. *Elements...* Eléments de la théorie mathématique du mouvement des fluides. New-York. In-32, 208 p. 3f,15.

DANA. *A text-book...* Traité de minéralogie. New-York. 3e édit., revue. In-8°, VIII-485 p. 22f,50.

—— *Manual...* Manuel de géologie, avec application spéciale à l'histoire géologique de l'Amérique. New-York. 3e édit. In-8°, XIV-911 p. 26f,15.

HALL. *Description of new species...* Description de nouvelles espèces de fossiles de la fontaine Niagara, à Waldron, Indiana. Albany (New-York). In-8°, 20 p. 1f,90.

WALCOTT. *The Utica slate...* Les schistes d'Utica et les formations qui s'y rattachent; fossiles des schistes d'Utica et métamorphoses du *Triarthrus Recki*, av. deux planches. Albany (New-York). In-8°, 40 p. 3f,15.

MACLEAN. *Manual...* Manuel de l'antiquité de l'homme. Cincinnati. 8e édit. In-12, 159 p. 6f,25.

WALTER. *The perception...* La perception de l'espace et de la matière. Boston. In-8°, IV-451 p. 12f,50.

ADAMS. *Taxation...* Taxes des chemins de fer et conditions de sécurité. New-York. In-12, 50 p. 1f,90.

BARR. *Practical treatise...* Traité pratique des chaudières à vapeur à haute pression. Indianapolis. In-8°, VI-456 p. 30 fr.

WHEELER. *Elementary guide...* Guide élémentaire pour les déterminations minéralogiques. Chicago. In-12, 75 p. 6f,25.

SYMONDS. *Old stones...* Études nouvelles sur les roches anciennes : notes géologiques sur les roches plutoniques, volcaniques, laurentiennes, cambriennes, siluriennes et dévoniennes des environs de Malvern. Burghope. In-12, 120 p. 2f,50.

Directory to the iron... Guide des usines à fer et à acier des États-Unis; préparé et publié par l'Association américaine du fer et de l'acier. Philadelphie. In-8°, VI-184 p. 18f,75.

OUVRAGES ALLEMANDS.

BOBECK. *Ueber ebene*... Sur des courbes planes rationnelles. Vienne. In-8°, 36 p. et 3 pl. 2 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften*).

KERSTEN. *Magnetische Beobachtungen*... Observations magnétiques dans l'Afrique orientale moyenne. Leipzig. In-8°, 48 p. 3 fr.

KÖNIGSBERGER. *Zur Geschichte*... Pour l'histoire de la théorie des fonctions elliptiques transcendantes dans les années 1826-29. Leipzig. In-8°, III-104 p. 3 fr.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 285-287, 184 p., 17 pl. Chaque livraison 11f,25.

SADEBECK. *Geologie*... Géologie de l'Afrique orientale, avec une carte. Leipzig. In-8°, 40 p. 5 fr.

BERNSTEIN. *Die electrische*... L'éclairage électrique. Berlin. In-8°, IV-80 p., avec 16 fig. 2f,50.

H. GRUNER. *Landwirthschaft*... Agriculture et géologie. Berlin. In-8°, 64 p. 2f,50.

Handbuch der chemischen... Manuel de technologie chimique composé et publié par *P. Bolley*, en collaboration avec plusieurs savants et praticiens; continué après sa mort par *K. Birnbaum*. T. II. 1er groupe, 4e livraison. Brunswick. In-8°, p. 1-640. 22f,50.

HILDEBRANDT. *Ueber mechanische*... Sur les dispositions mécaniques pour le chauffage des chaudières à vapeur. Berlin. In-8°, 29 p., avec 19 fig. 1f,25.

ORTHOFF. *Die Materialien*... Matériaux, établissement et entretien de la superstructure des chemins de fer. 1er fasc. Oldenbourg. In-8°, XII-196 p. 7f,50.

BAEBLICH. *Die Archive*... Les archives du monde primitif. Berlin. In-8°, XI-576 p. 9f,40.

ROTH. *Beiträge*... Contributions à la pétrographie des roches plu-

toniques. Berlin. In-4°, 51-LXXX p. 11f,25 (Extr. des *Abhandl. d. k. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin*).

WETTSTEIN. *Die Strömungen...* Les courants de matière solide, liquide et gazeuse, et leur importance pour la géologie, l'astronomie, la climatologie et la météorologie. Winterthur. In-8°, VI-406 p. 10 fr.

WINCKLER. *Anleitung...* Guide pour l'étude chimique des gaz industriels. 2e partie : Analyse quantitative. 2e livraison. Freiberg. In-8°, XVI et p. 211-476. 15 fr.

ZITTEL. *Handbuch...* Manuel de paléontologie, publié avec le concours de *W. P. Schimper*. Tome I, 3e livraison. Munich. In-8°, p. 309-564. 13f,75.

HEINZERLING. *Die Brücken...* Les ponts actuels. 1re partie : Ponts en fer. 4e fascic. Aix-la-Chapelle. In-f°, IV-56 p., av. 6 pl. 17f,50.

LEDEBUR. *Die Verarbeitung...* Le travail des métaux par voie mécanique. 4e et 5e livraisons. Brunswick. In-8°, XVIII et p. 561-908. 14f,25.

SCHMITT. *Bahnhöfe...* Gares et bâtiments de chemins de fer. 2e partie, 1re livraison. Leipzig. In-4°, 304 p. 27f,50.

DOSTOR. Nouvelle détermination analytique des foyers et directrices dans les sections coniques représentées par leurs équations générales. Leipzig. In-8°, 92 p. 2 fr. (Extr. des *Archiv. d. Mathematik u. Physik*).

HEMPEL. *Neue Methoden...* Nouvelles méthodes pour l'analyse des gaz. Brunswick. In-8°, X-129 p. 6f,25.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *A. Zittel*. Cassel. In-4°. T. XXVI (3e série, t. II), 4e livraison, 56 p., avec 7 pl. 35 fr.

SCHEFFLER. *Die Naturgesetze...* Les lois de la nature et leur liaison avec les principes des sciences abstraites. 3e partie. Leipzig. In-8°, 742 p. 18f,75.

SCHUNKE. *Beitrag...* Contribution à la théorie de l'équilibre des corps flottants. Kiel. In-8°, VII-45 p. et 1 pl. 2f,50.

WISOTZKI. *Die Vertheilung...* La répartition des eaux et des terres à la surface du globe. Kœnigsberg. In-8°, 52 p. 2f,25.

MÜLLER. *Die Locomotiven...* Les locomotives pour les chemins de moindre importance ou de forte déclivité, avec considérations spéciales sur les locomotives à roue dentée. Munich. In-4°, IV-40 p. 6 fr.

BARRANDE. Système silurien du centre de la Bohême. 1re partie : Recherches paléontologiques. Vol. V, classe des mollusques,

ordre des brachiopodes. 2 tomes. Prague. In-4°, XV-226 p., avec 153 pl. 150 fr.

CONWENTZ. *Die fossilen Hölzer*... Les bois fossiles de Karlsdorf am Zöbten. Breslau. In-8°, 48 p., avec 8 pl. 5 fr.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. Fehling*, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. Brunswick. In-8°, livr. 32 et 33 (t. III, p. 481-672). Chaque livr. 3 fr.

MARTIN. *Die Tertiärschichten*... Les couches tertiaires de Java. Partie paléontologique. Livr. 2 et 3. Bivalves, crustacés, coraux foraminifères. Leyde. In-f°, VI et p. 89-165, avec 12 pl. 10f,65.

MEISSNER. *Die Hydraulik*... L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna. In-8°. T. II: les turbines et les roues hydrauliques. 6e et 7e fasc., p. 283-394, avec 12 pl. Chaque fascicule : 3f,75.

DEWITZ. *Beiträge*... Contributions à la connaissance des céphalopodes qu'on rencontre dans les galets siluriens de la Prusse orientale. Kœnigsberg. In-4°, 19 p. et 1 pl. 1f,50.

ENGLER. *Historisch-kritische Studien*... Études historiques et critiques sur l'ozone. Halle. In-4°, 67 p. et 1 pl. 5f,65.

GINTL. *Studien über*... Études sur la matière radiante de Crookes et la théorie méeanique de l'électricité. Prague. In-8°, 20 p. 1f,25.

KJERULF. *Die Geologie*... Géologie de la Norwège méridonale et moyenne. Traduction allemande par *A. Gurlt*. Bonn. In-8°, XVI-350 p. 17f,50.

SZAJNOCHA. *Die Brachiopoden-Fauna*... La faune de brachiopodes de l'oolithe de Balin, près Cracovie. Vienne. In-4°, 44 p. et 7 pl. 5f,50. (Extr. des *Denkschriften d. K. Akad. d. Wissenschaften.*)

WEYR. *Beiträge*... Contributions à la théorie des courbes. Vienne. In-8°, V-64 p. 2f,75.

WÜRTENBERGER. *Studien über*... Études sur l'histoire généalogique des ammonites: une preuve géologique de la théorie de Darwin. Leipzig. In-8°, IX-110 p., avec 4 pl. 3f,75.

GURLT. *Die Bereitung*... La préparation des briquettes de houille. Brunswick. In-8°, VII-59 p. 2f50.

HEUSINGER V. WALDEGG. *Musterconstructionen*... Types de constructions pour l'établissement des chemins de fer. Hanovre. In-folio. T. 1, 3e livr. 2e moitié, p. 49-64 avec 6 pl. et p. 78-84 avec 5 pl. 11f,25.

KOLLMANN. *Ueber die Festigkeit*... sur la résistance du fer à chaud. Berlin. In-4°, 40 p. avec 3 pl. 3f,75.

MAERCKER. *Die Kalisalze*... Les sels de potasse et leur emploi en agriculture. Berlin. In-8°, VIII-135. 3f,75.

V. Reiche. *Der Dampfmaschinen-Constructeur...* Le constructeur de machines à vapeur. 1re partie, avec un atlas de 31 pl. Aix-la-Chapelle. In-8°, IX-187 p. 20 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

Bizio. *Analisi chimica...* Analyse chimique de l'eau minérale de Valgrande. Venise. In-8°, 28 p. (Extr. des *Atti del R. Istituto veneto di scienze, lettere ed arti.*)

De Bosniaski. *Cenni sopra...* Renseignements sur la succession chronologique et la nature des couches tertiaires supérieures dans les montagnes de Livourne. Pise. In-8°, 14 p. (Extr. des *Rendic. d. Soc. toscana d. scienze naturali.*)

Gabba. *Trattato di analisi...* Traité d'analyse chimique générale et appliquée. 1re partie. Milan. Grand in-8°, XXX-533 p. 12 fr.

Lawley. *Nuovi denti...* Nouvelles dents fossiles de *Notidanus*, découvertes à Orciano Pisano. Pise. In-4°, 12 p. (Extr. des *Atti d. Soc. toscana d. scienze naturali.*)

Paladini. *La ferrovia del Sahara...* Le chemin de fer du Sahara entre Gabès et le Soudan, et sa corrélation évidente avec les intérêts commerciaux de l'Italie. Cagliari. In-8°, 64 p.

Stoppani. Paléontologie lombarde ou description des fossiles de Lombardie, publiée avec le concours de plusieurs savants. Livraison 56, IVe série. Milan. In-4°, p. 153 à 184 et pl. 29 et 30. Chaque fascicule : 4 fr.

Tommasi. *Sull' equilibrio...* Sur l'équilibre thermique dans les actions chimiques. Florence. In-8° 16 p. (Extr. de la *Rivista scientifico-industriale.*)

Vaccaroni. *Richerche fisico-chimiche...* Recherches physico-chimiques sur l'eau du Tibre. Rome. Grand in-8°, 40 p.

Zanotti-Bianco. *Il problema...* Le problème mécanique de la figure de la terre, exposé d'après les meilleurs auteurs. 1re partie. Turin. In-8°, XII-304 p. 8 fr.

Mocenigo. *Le oscillazioni...* Les oscillations de la colonne liquide du baromètre rendues manifestes à petites et à grandes distances par un galvanomètre par le courant électrique de la pile. Bassano. In-8°, 46 p.

Palmieri. *Del Vesuvio...* Le Vésuve aux temps de Spartacus et de Strabon. Naples. In-4°, 5 p. et 1 pl. (Extr. de l'ouvrage : *Pompei e la regione sotterrata dal Vesuvio nell' anno* 79. Naples. 1879.)

RUGGIERO. *Della eruzione...* Etudes sur l'éruption du Vésuve en l'an 79 : Naples. In-4°, 32 p. et 6 pl. (Extr. du même ouvrage).

BRUNO. *Tavole...* Tables barométriques pour la mesure des hauteurs. Turin. In-32, 103 p. 2 fr.

COLOMBANA. *Sulle calci...* Sur les chaux hydrauliques et sur les ciments. Rome. In-8°, 52 p. (Extr. du *Giorn. d'Artigliera et Genio*).

SACCARDO. *Determinazione...* Détermination graphique des courbes de flexion. Rome. In-8°, 40 p. et 2 pl. (Extr. du *Gior. del Genio civile*).

SCOLA. *Sulla discussione...* De la discussion des équations du second degré entre deux variables. Reggio de Calabre. In-8°, 48 p.

CASTELLINI. *L'umanità...* L'humanité dans les évolutions géologiques. Turin. In-16, 88 p., 1f,50.

JERVIS. *I combustibili...* Les combustibles minéraux d'Italie. Turin. In-8°, 90 p. 1f,50.

TARAMELLI. *Materiali...* Matériaux pour la carte géologique de la Suisse, publiés par la commission géologique de la Société helvétique des sciences naturelles. Vol. XVII. Le canton du Tessin méridional et les pays limitrophes. Explication de la feuille XXIV coloriée géologiquement par *Spreafico*, *Negri* et *Stoppani*. Treviglio. In-4°, 231 p.

OLIVETI et FADDA. *La locomotiva...* La locomotive ; sa construction et art de la conduire. 1re partie : De la chaudière. Turin-Rome. In-8°, XI-244 p., av. 162 figures et 4 pl., 3 fr.

DORNA. *Applicazione...* Application des principes de la mécanique analytique à des problèmes. Turin. In-4°, 24 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino*).

Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. — Direction de statistique. Tableaux pour la compilation d'une statistique internationale des chemins de fer. Rome. Gr. in-8°, 23 p. (Extr. des *Annales de statistique*).

TURAZZA. *Trattato...* Traité d'hydraulique pratique. 3e édit., notablement améliorée et augmentée. Padoue. In-8°, V-525 p. et 2 pl. 10 fr.

COSSA. *Sui cristalli...* Sur les cristaux microscopiques de rutile contenus dans une ecclogite du Val Tournanche. Turin. In-8°, 5 p.

CROCCHI. *Un' osservazione...* Une observation sur une transformation géométrique (l'Arguisienne de Saltel). Mantoue. In-8°, 10 p.

GOIRAN. *Meteorologia endogena...* Météorologie interne : le trem-

blement de terre de Vérone du 9 février 1880. Vérone. In-24, 43 p.

SCACCHI et DEL LUPO. *Quadri cristallografici...* Cadres cristallographiques pour servir aux leçons de minéralogie de l'Université. Turin. In-8°, 35 p. 1f,50.

BÉRARD. Le Mont-Blanc et le Simplon considérés comme voies internationales (avec une lettre de M. le professeur *M. Baretti* sur les conditions géologiques du tracé Aoste-Chamounix). Turin. In-16, 32 p. avec 2 profils et 1 carte. 1f,50.

D'OVIDIO. *Studio...* Étude des cubiques gauches au moyen de la notation symbolique des formes binaires. Turin. In-4°, 75 p. (Extr. des *Mem. d. R. Accad. d. scienze di Torino.*)

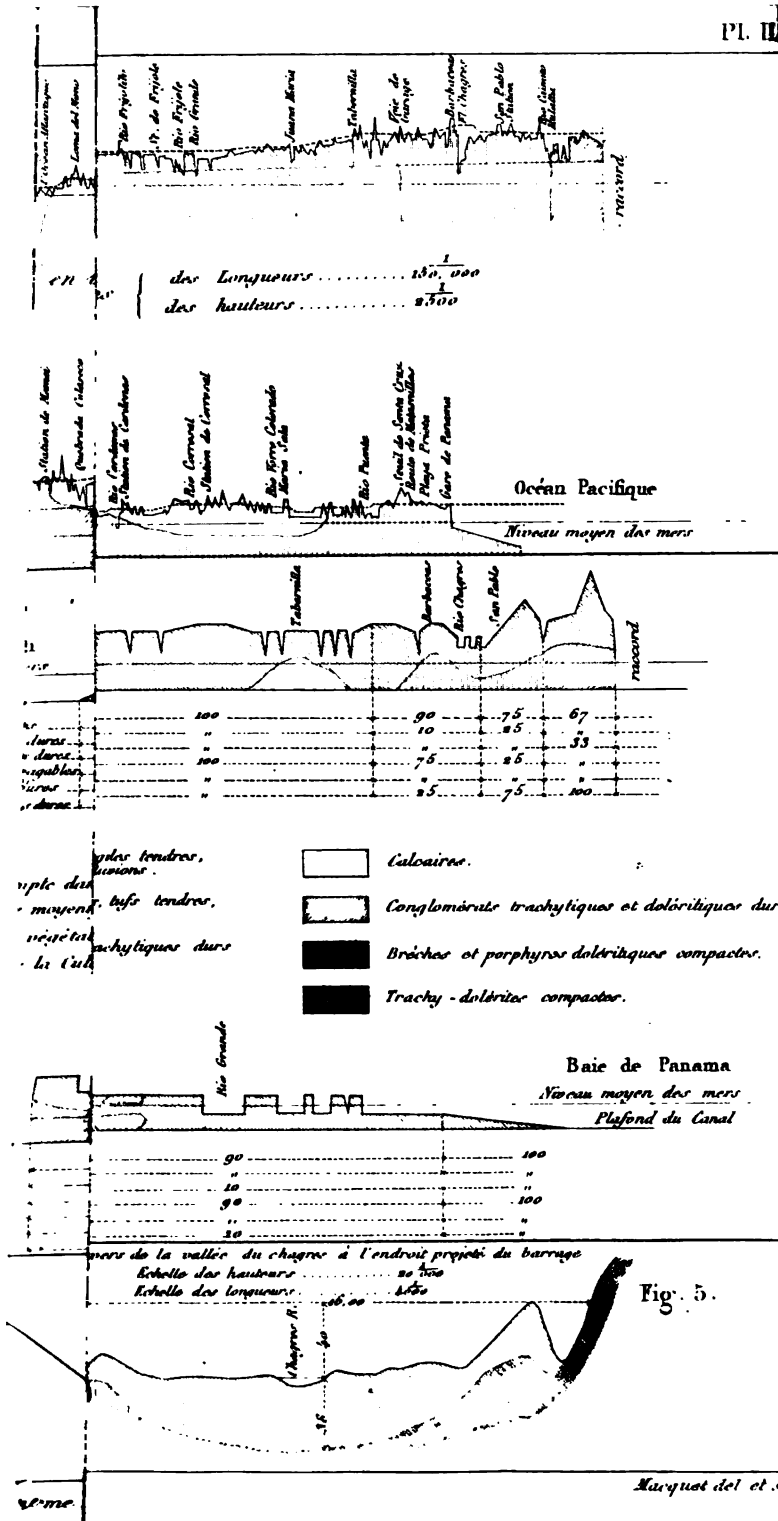
Ministero dei lavori... Ministère des travaux publics : direction générale des chemins de fer. Réponses au questionnaire de la commission parlementaire d'enquête sur l'exploitation des chemins de fer italiens. Rome. In-4°, 262 p.

PIZZARELLO. *La coesione...* La cohésion dans les liquides mesurée au moyen de la chaleur qu'ils acquièrent ou perdent en se réchauffant ou se refroidissant. Macerata. In-8°, 53 p.

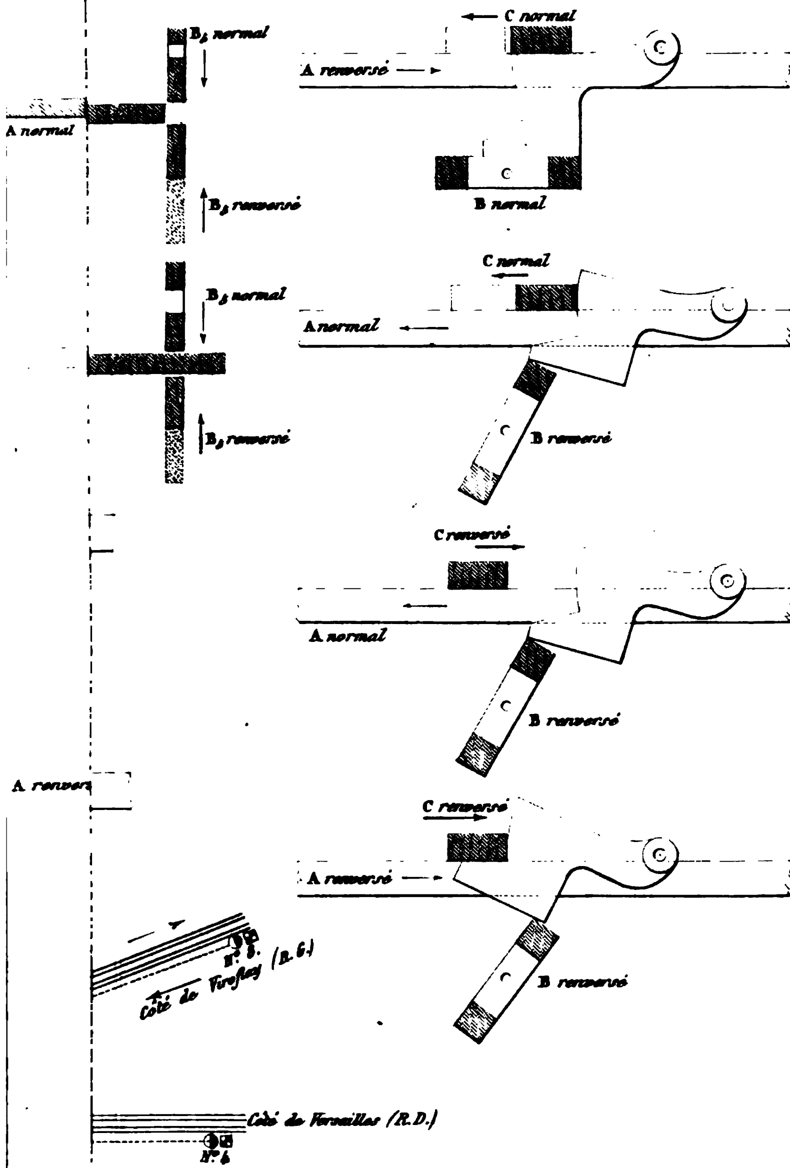
ZANGIROLAMI. *Ruote o turbini...* Roues et turbines; comparaisons pratiques. Petit in-4°, 15 p.

DENZA. *Leggi della variazione...* Lois de la variation diurne de l'électricité atmosphérique, déduites des observations journalières faites à l'observatoire du collège Charles-Albert à Moncalieri, de 1871 à 1878. Turin. In-8°, 19 p.

MIZZI. *La ferrovia...* Le chemin de fer transsaharien et la mer intérieure africaine. Milan. In-16, 23 p. 1 fr.

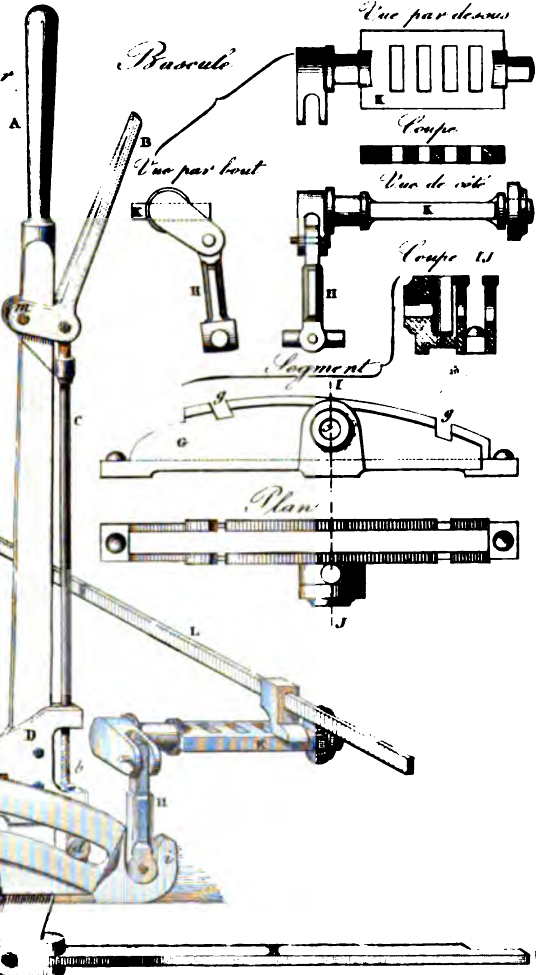


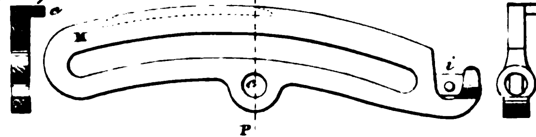
Pl. II
Rio Frijolito
Rio Frijole
Rio Gatuncillo
Juana Maria
Tabernilla
Barbacoas
Rio Chagres
San Pablo
raccord
des Longueurs 1/150,000
des hauteurs 1/2500
Océan Pacifique
Niveau moyen des mers
Rio Cardenas
Rio Caimanal
Rio Pedro Miguel
Gare de Panama
Tabernilla
Barbacoas
Rio Chagres
San Pablo
raccord
Calcaires.
Conglomérats trachytiques et doléritiques durs
Brèches et porphyres doléritiques compactes.
Trachy-dolérites compactes.
Baie de Panama
Niveau moyen des mers
Plafond du Canal
Rio Grande
Echelle des hauteurs
Echelle des longueurs
Chagres R.
Fig. 5.
Marquet del et sc



Macquet del. et sc.

d'un poste fonctionner





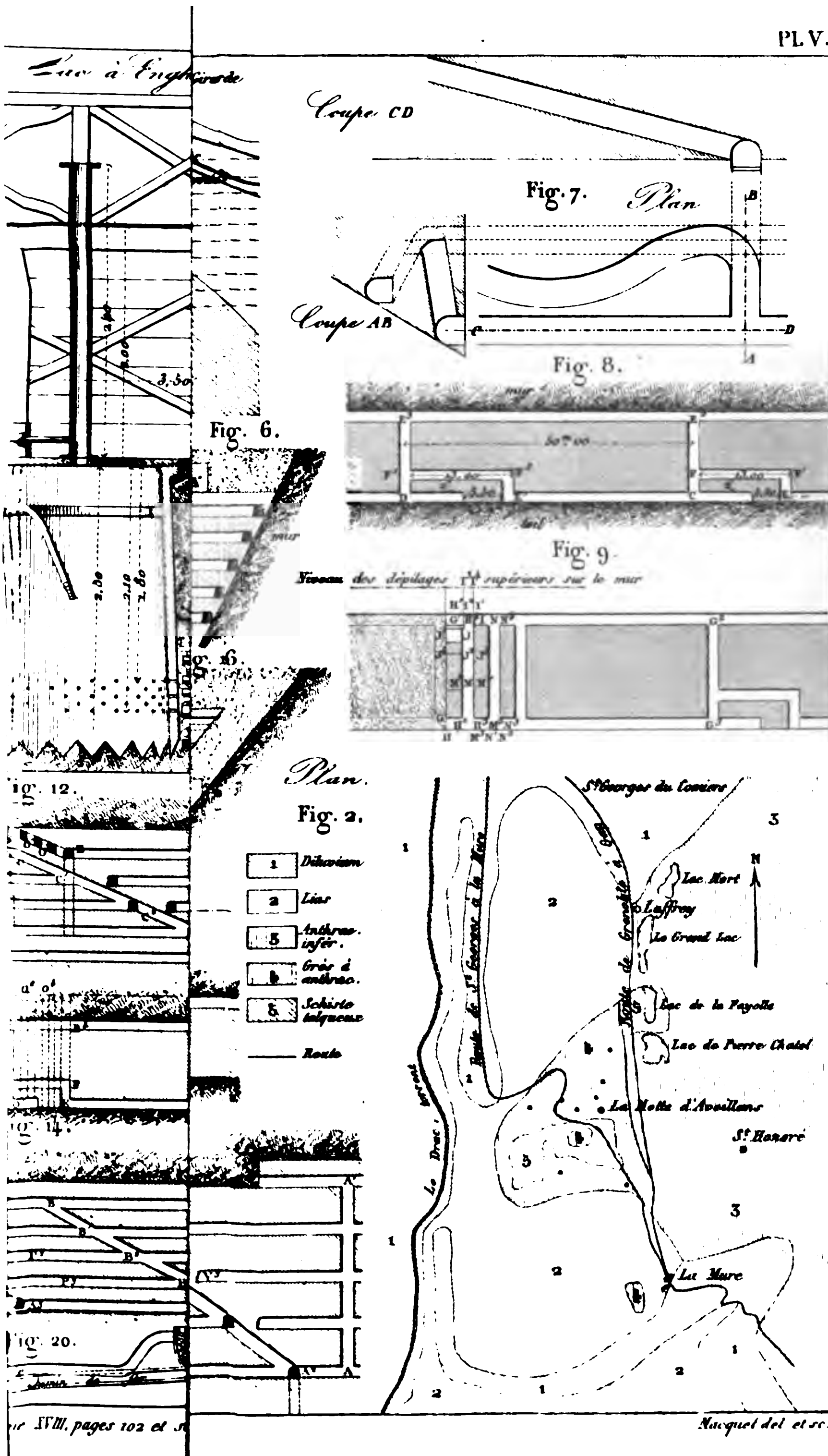
Bascule

Coupe NP

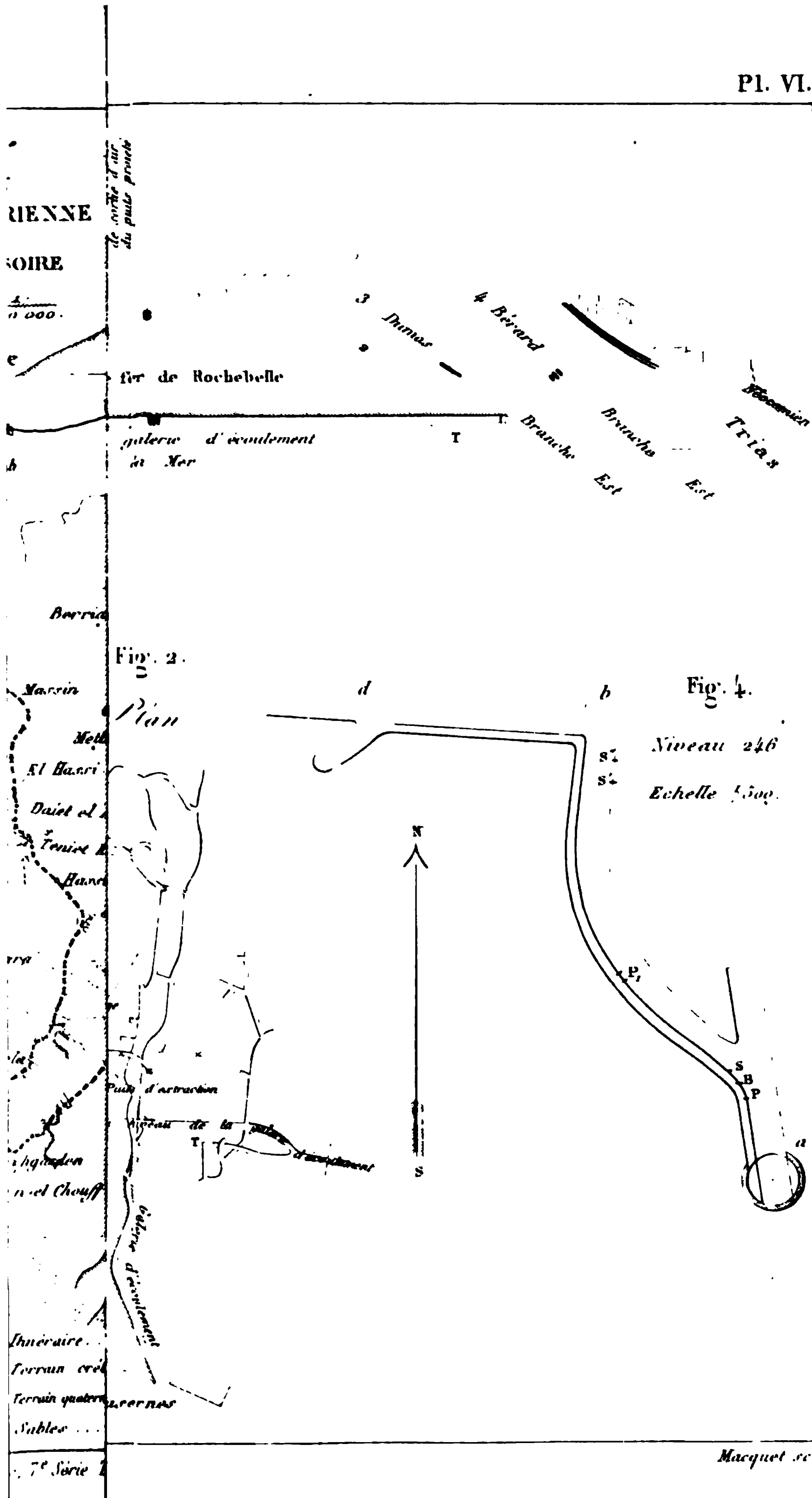
Vue par bout

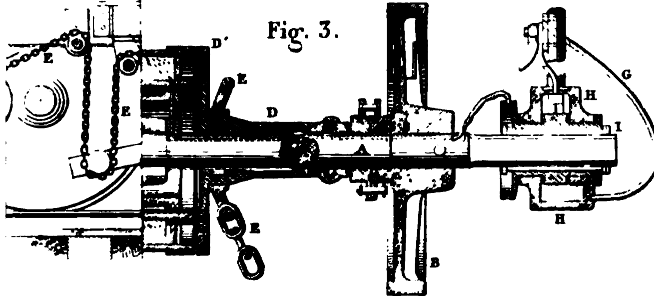
Echelle des Fig. 2 et 3 de 1/20

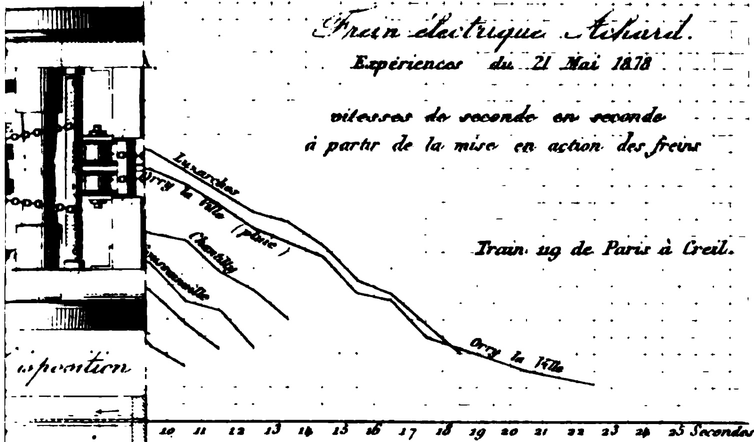
Macquet del et sc.

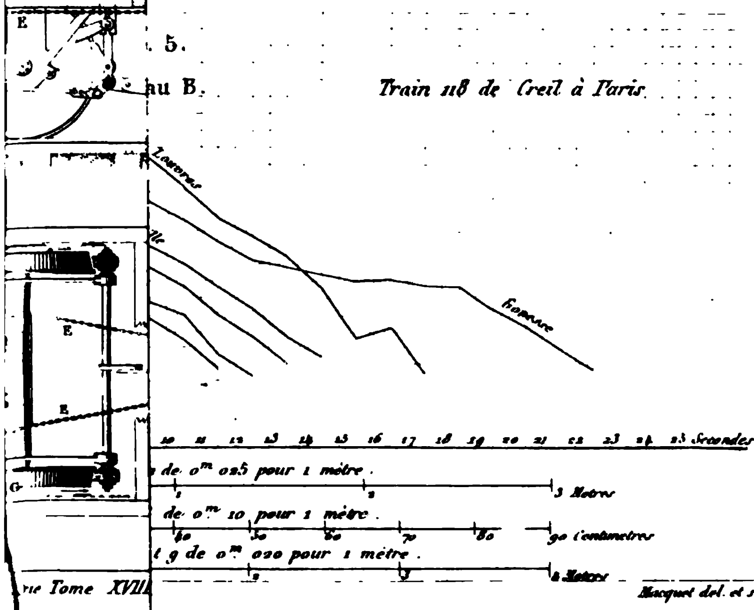


Macquet del et sc.

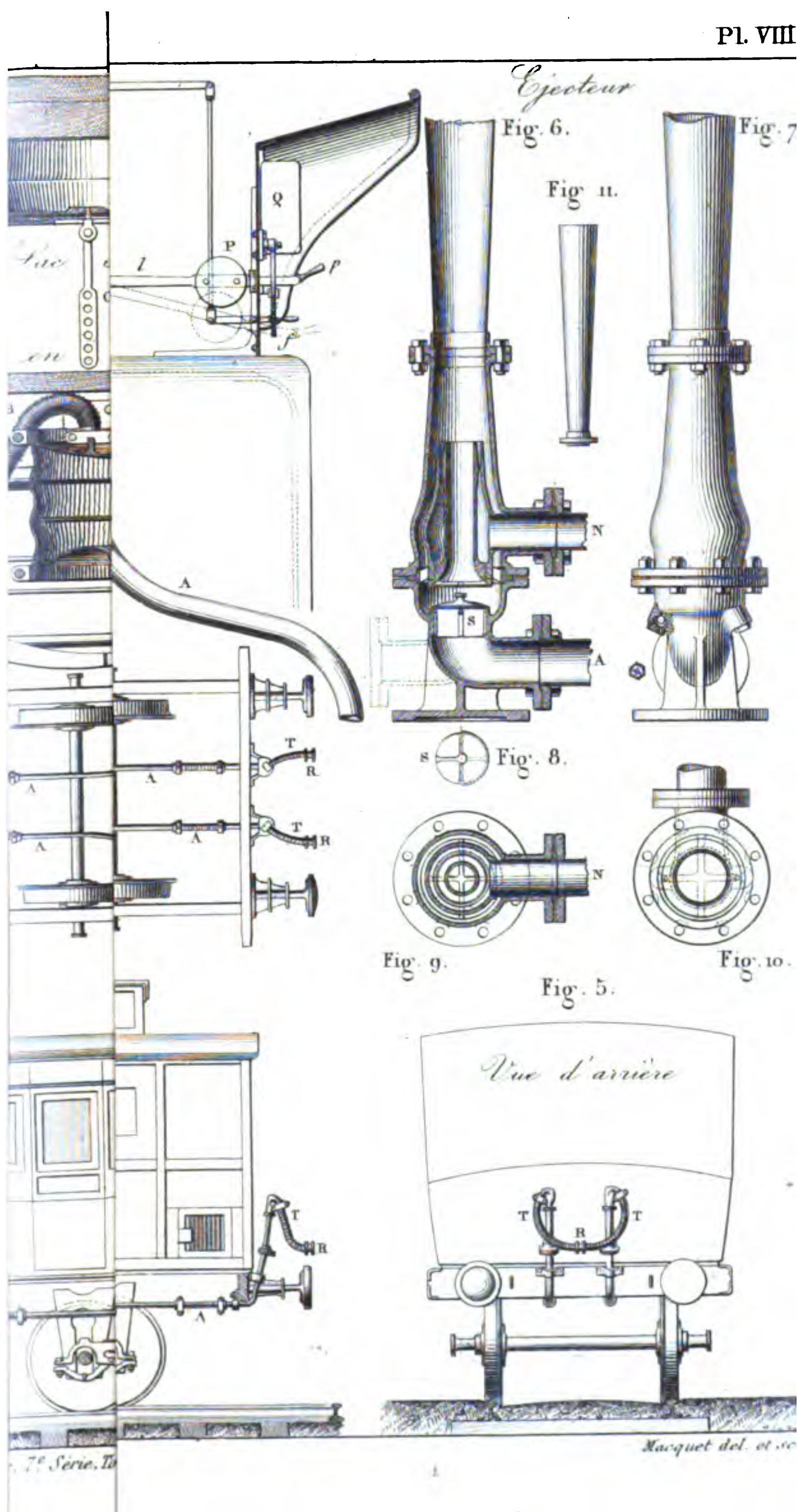

RIENNE
SOIRE
fer de Rochebelle
galerie d'écoulement
à Mer
3 Dumas
4 Bérard
Branche Est
Branche Est
Néocomien
Trias
Fig. 2.
Plan
Puits d'extraction
Niveau de la galerie d'écoulement
Galerie d'écoulement
Fig. 4.
Niveau 246
Echelle 1/500.
N
S
P₁
S
B
P
a
d
b
Itinéraire
Terrain cré
Terrain quatern
Sables
7e Série



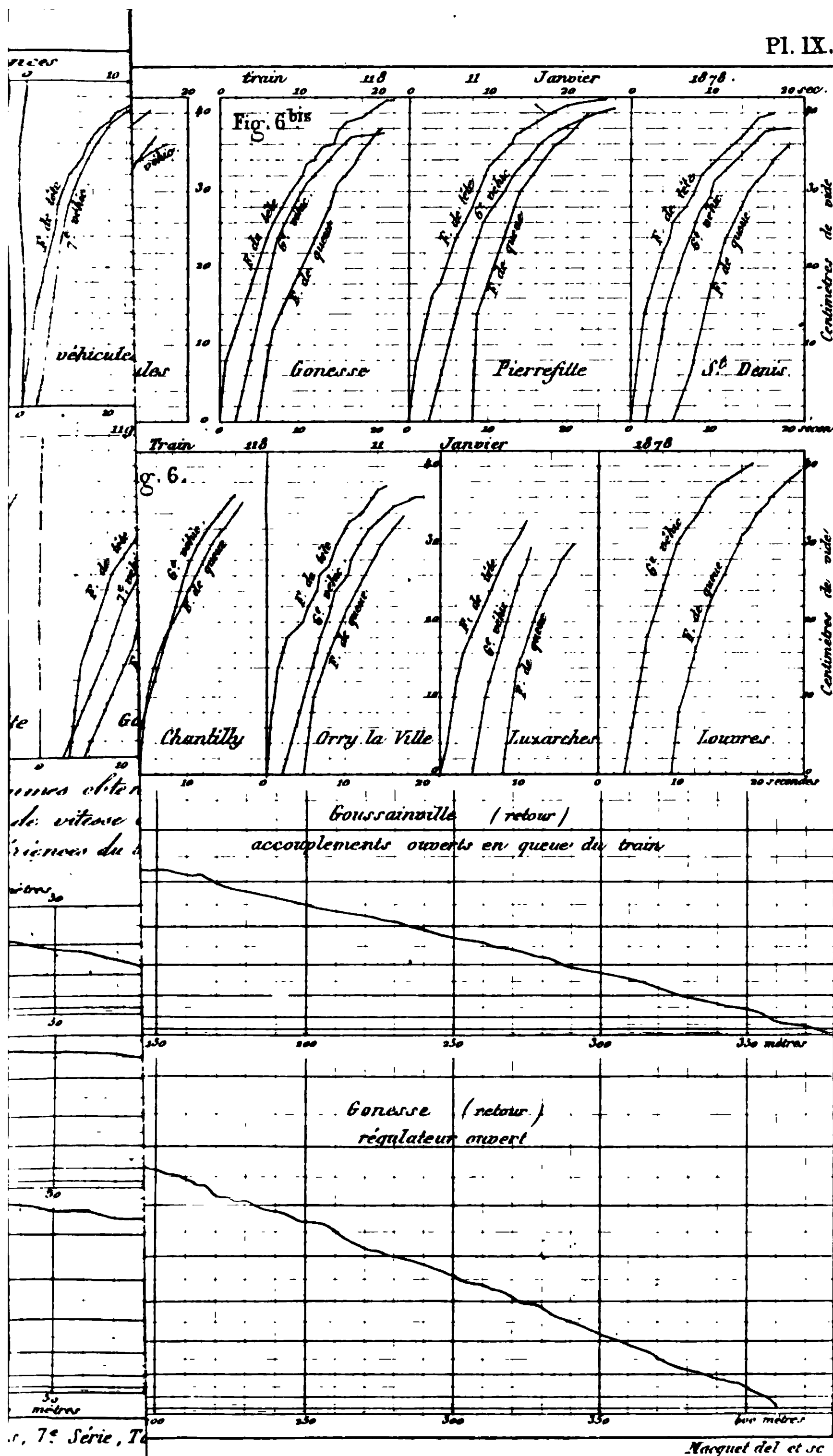




Macquet del. et sc.



Macquet del. et sc



Macquet del et sc

Fig. 1.

...tion et co...
...t A'B'C'D' du f...

L

Appareil moteur

Echelle de 1/3

Fig. 2.

Plan

L

D'

Marquet del. et sc.

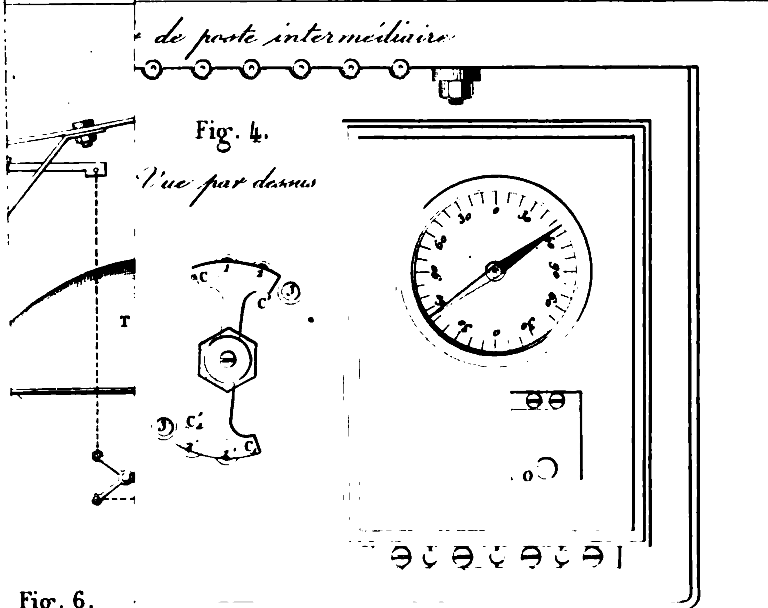
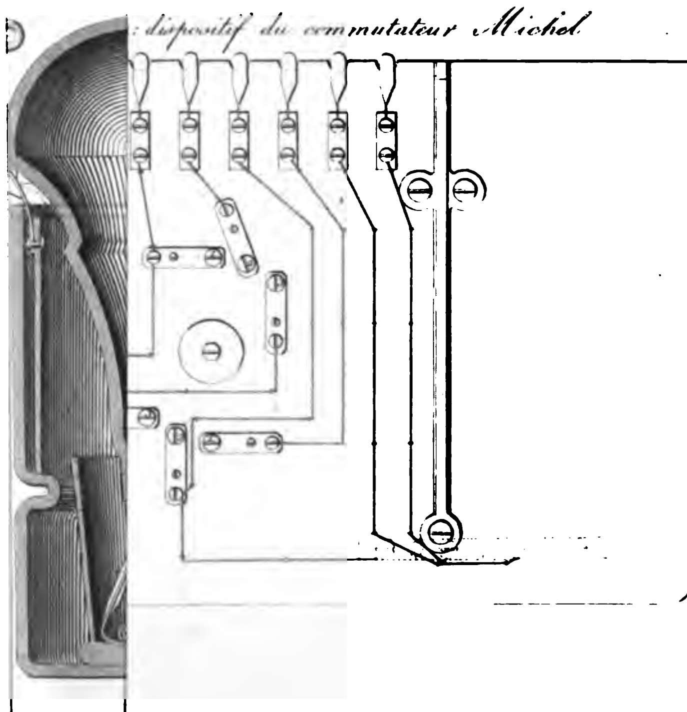


Fig. 6.



Marquet del. et sc.

